

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*

**INFLUENCIA DE LAS PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN LAS  
PROPIEDADES DEL ÁRIDO RECICLADO**  
(INFLUENCE OF CONSTRUCTION AND  
DEMOLITION WASTE TREATMENT PLANTS ON  
RECYCLED AGGREGATE PROPERTIES)

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Paula Palomera Obregón  
Septiembre – 2021



## RESUMEN

La industria de la construcción es uno de los sectores más grandes y activos de Europa, pero consume más materias primas y energía que cualquier otra actividad económica, y genera un flujo de residuos de construcción y demolición (RCD) que representa entre el 25 y el 30% de todos los residuos generados en la UE. Es por ello que el principal problema ambiental que plantean estos residuos procede del gran volumen de generación.

Los residuos de construcción y demolición proceden, en su mayor parte, de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción de las obras de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas o urbanizaciones. El tratamiento más habitual de estos RCD en los países desarrollados se basa en el traslado de estos a plantas de reciclado donde reciben tratamiento con el objetivo de reutilizar/reciclar la mayor fracción posible y enviar a vertedero una pequeña fracción. Así, las plantas de tratamiento son capaces de producir áridos reciclados que pueden sustituir a los áridos naturales en diversas aplicaciones con los consiguientes beneficios sociales, económicos y medioambientales.

Los RCD que llegan a las plantas de reciclado pueden llegar en forma segregada o en forma mezclada según se haya llevado a cabo el proceso de demolición.

En este trabajo los RCD se clasifican en tres lotes en función de su composición: *segregados* que representa la parte de residuos que ha sido seleccionada y separada en obra, y *mezclado* que representa la parte de residuos que ha sido mezclada en obra es dividido este a su vez en *mezclado de origen pétreo* que representa mezcla de RCD de origen pétreo únicamente y *mezclado total*, que representa RCD incluyendo todos los posibles componentes.

La tecnología y la maquinaria empleada en las plantas de tratamiento de los RCD's es un factor determinante a la hora de obtener productos reciclados de calidad que puedan sustituir a los áridos naturales. En este trabajo, se analizan cuatro diferentes tipos de plantas de reciclaje comenzando por una planta de reciclaje convencional, en la que se hace uso de una maquinaria básica, y se generan productos reciclados de menor calidad denominada **planta básica**, hasta una planta de reciclaje con altas prestaciones, en la cual se dispone de una maquinaria variada y actualizada, y de un proceso de reciclaje complejo que permite obtener productos reciclados de alta calidad, denominada como la **planta avanzada**. Se analizan también dos plantas de

prestaciones intermedias entre la básica y la avanzada llamadas: **intermedia y desarrollada**.

Para obtener árido reciclado en una calidad y cantidad satisfactoria se requiere de las plantas y maquinaria adaptadas, y para valorar dicha adaptación, se deberán tener en cuenta factores tecnológicos, medioambientales y de gestión.

En este TFG se pretende valorar preliminarmente cuál es la influencia que ejerce el tipo de planta de reciclaje en las características finales del árido obtenido, en base a criterios técnicos y ambientales. También se lleva a cabo una evaluación económica preliminar de algunos criterios económicos de la planta.

Se evalúa la influencia de 4 plantas de tratamiento, bajo unas determinadas condiciones de entrada, que son las mismas para todos los casos. Se toma una base de 100.000 toneladas de RCD, dato escogido en función de la realización de una simulación de las cantidades reales de RCD's generados en el área de influencia de Santander y se considera:

- La misma segregación en origen de los distintos componentes de los RCD (15%).
- Del 85% de mezclado restante, 42,5% de residuos pétreos y 42,5% de residuos de mezclado general.

Los resultados obtenidos se discuten a partir de criterios técnicos, que evaluarán la calidad del producto obtenido, criterios medioambientales en base a la capacidad de recuperación y de reciclaje y criterios económicos, con una valoración estimada del precio que tendrían los productos reciclados en el mercado. Con este último criterio, pese a ser valores aproximados, conseguimos englobar los otros dos, ya que el precio depende tanto de la calidad obtenida (criterio técnico), como de la cantidad disponible (criterio medioambiental). Mediante estos criterios se consigue una valoración para cada planta.

Cabe destacar la necesidad de mejora tecnológica de las plantas de tratamiento de RCD en Cantabria para disminuir el impacto medioambiental, siendo para ello necesario la colaboración por parte del Gobierno Regional, con políticas que regulen las condiciones de los RCD's, y por parte de los encargados del momento de la demolición, aumentando la segregación desde el principio.

**Palabras clave:** residuos de construcción y demolición, plantas de tratamiento, reciclaje, reutilización, áridos reciclados.

## ABSTRACT

The construction industry is one of the largest and most active sectors in Europe, but it consumes more raw materials and energy than any other economic activity and generates a construction and demolition waste (CDW) stream that represents 25-30% of all waste generated in the EU. That is why the main environmental problem posed by these wastes comes from the large volume of generation.

Construction and demolition waste comes mostly from the demolition of buildings or the rejection of construction materials from new construction sites and small renovation works in homes or housing developments. The most common treatment of these CDWs in developed countries is based on transferring them to recycling plants where they are treated with the aim of reusing/recycling the largest fraction possible and sending a small fraction to landfill. Thus, treatment plants are able to produce recycled aggregates that can replace natural aggregates in various applications with the consequent social, economic and environmental benefits.

The CDW arriving at the recycling plants can arrive in segregated form or in mixed form depending on whether the demolition process has been carried out.

In this work, the CDW is classified into three batches according to its composition: segregated, which represents the part of the waste that has been selected and separated on site, and mixed, which represents the part of the waste that has been mixed on site, which in turn is divided into mixed of stone origin, which represents a mixture of CDW of stone origin only, and total mixed, which represents CDW including all possible components.

The technology and machinery used in the CDW treatment plants is a determining factor when it comes to obtaining quality recycled products that can replace natural aggregates. In this work, four different types of recycling plants are analyzed, starting with a conventional recycling plant, in which basic machinery is used, and lower quality recycled products are generated, called basic plant, up to a high-performance recycling plant, in which there is a varied and updated machinery, and a complex recycling process that allows obtaining high quality recycled products, called advanced plant. Two plants of intermediate performance between the basic and advanced plants are also analyzed: intermediate and developed.

In order to obtain recycled aggregate in a satisfactory quality and quantity, adapted plants and machinery are required, and to assess such adaptation, technological, environmental and management factors must be taken into account.

In this TFG we intend to preliminarily assess the influence of the type of recycling plant on the final characteristics of the aggregate obtained, based on technical and environmental criteria. A preliminary economic evaluation of some economic criteria of the plant is also carried out.

The influence of 4 treatment plants is evaluated, under certain input conditions, which are the same for all cases. A base of 100,000 tons of CDW is taken, a figure chosen on the basis of a simulation of the real quantities of CDW generated in the area of influence of Santander, and is considered:

- The same segregation at source of the different components of the CDW (15%).
- Of the remaining 85% of mixed waste, 42.5% is stone waste and 42.5% is general mixed waste.

The results obtained are discussed on the basis of technical criteria, which will evaluate the quality of the product obtained, environmental criteria based on the capacity for recovery and recycling, and economic criteria, with an estimated valuation of the price that the recycled products would have on the market. With this last criterion, despite being approximate values, we manage to include the other two, since the price depends on both the quality obtained (technical criterion) and the quantity available (environmental criterion). By means of these criteria, a valuation is obtained for each plant.

It is worth highlighting the need for technological improvement of the CDW treatment plants in Cantabria to reduce the environmental impact, which requires the collaboration of the Regional Government, with policies that regulate the conditions of the CDW, and of those in charge of demolition, increasing segregation from the beginning.

**Key words:** construction and demolition waste, treatment plants, recycling, reuse, recycled aggregates.

## ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN .....	9
1.1.	OBJETIVOS .....	10
2.	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN .....	12
2.1.	DEFINICIÓN.....	12
2.2.	PROPIEDADES DE LOS RCD's .....	12
2.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS RCD's.....	13
2.4.	ORIGEN DE LOS RESIDUOS.....	14
2.5.	IMPACTO AMBIENTAL.....	16
2.6.	PRODUCTO ÁRIDO RECICLADO.....	18
2.6.1.	Propiedades de los áridos reciclados .....	22
2.6.2.	Aplicaciones de los áridos reciclados .....	25
3.	SITUACIÓN EN ÁREA DE SANTANDER Y ANEXOS .....	29
4.	TRATAMIENTO DE LOS RCD'S EN LAS PLANTAS DE RECICLADO .....	33
4.1.	COMPOSICIÓN INICIAL DE LOS RCD'S .....	33
4.2.	MANAGER DE RCD'S.....	36
4.3.	TIPOS DE PLANTA.....	37
4.3.1.	Tipo de tratamiento en planta para corriente RCD .....	37
4.3.2.	Descripción de los tipos de planta a estudiar.....	38
4.3.3.	Maquinaria dentro de la planta.....	43
5.	RESULTADOS.....	53
5.1.	PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE BÁSICA.....	55
5.1.1.	Inspección visual y pesaje .....	55
5.1.2.	Área de descarga.....	59
5.1.3.	Separación por tamaño de partícula en la criba vibratoria.....	62
5.1.4.	Reducción del tamaño de partícula con trituradora de mandíbula.....	65
5.1.5.	Separación magnética .....	68
5.1.6.	Separación por tamaño de partícula en la criba rotatoria .....	69
5.1.7.	Separación por densidad en el tamiz por flujo de aire .....	72
5.1.8.	Separación final en la cabina de clasificado manual .....	73

5.1.9.	Resultados generales de la planta básica .....	75
5.2.	PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE INTERMEDIA ...	77
5.2.1.	Área de descarga .....	77
5.2.2.	Separación por tamaño de partícula en la criba vibratoria .....	80
5.2.3.	Reducción del tamaño de partícula con trituradora de mandíbula .....	83
5.2.4.	Separación magnética .....	85
5.2.5.	Separación por tamaño de partícula en la criba rotatoria .....	85
5.2.6.	Separación por densidad en el tamiz por flujo de aire .....	87
5.2.7.	Separación final en la cabina de clasificado manual .....	87
5.2.8.	Resultados generales de la planta intermedia .....	88
5.3.	PROCESO Y SALIDAS DE PLANTA DE RECICLAJE DESARROLLADA .	90
5.3.1.	Separación por espiral .....	90
5.3.2.	Separación por flujo de aire .....	92
5.3.3.	Separación por densidad en sacudidora .....	92
5.3.4.	Resultados finales de la planta desarrollada .....	93
5.4.	PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE AVANZADA .....	96
5.4.1.	Inspección visual y pesaje .....	96
5.4.2.	Área de descarga: extracción por grúa de gancho .....	98
5.4.3.	Cabina de clasificado manual: separación manual .....	102
5.4.4.	Reducción del tamaño de partícula y distribución por tamaño .....	102
5.4.5.	Separación magnética .....	106
5.4.6.	Separación metálica mediante las corrientes Foucault .....	107
5.4.7.	Separación de las fracciones de residuos en la criba vibratoria .....	107
5.4.8.	Separación por densidad en la espiral .....	110
5.4.9.	Tamizado por flujo de aire de fracción gruesa .....	113
5.4.10.	Separación por densidad con la sacudidora por humedad .....	113
5.4.11.	Resultados generales de la planta avanzada .....	115
5.5.	COMPARACIÓN DE SALIDAS EN LAS PLANTAS .....	118
6.	DISCUSIÓN .....	121
6.1.	CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN/RECICLAJE DE RECURSOS .....	121
6.2.	CALIDAD DEL ÁRIDO RECICLADO .....	126
6.3.	INGRESOS DE LA VENTA DE RCD's .....	131
6.4.	PLANTAS DE RECICLAJE EN SANTANDER Y ANEXOS .....	137



6.5.	APROXIMACIÓN DE COSTES .....	138
6.5.1.	Costes fijos.....	138
6.5.2.	Costes laborales y operacionales .....	139
7.	TRATAMIENTO DE LOS RCD'S ANTES DE LAS PLANTAS .....	143
8.	CONCLUSIONES.....	145
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	149
10.	ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS .....	153
10.1.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	153
10.2.	ÍNDICE DE TABLAS .....	155
11.	ANEXOS .....	165

# 1. INTRODUCCIÓN

Sin duda un tema que hoy en día causa una gran preocupación en la sociedad es la generación de residuos, que, en concreto, 2.500 millones de toneladas anualmente son generadas en la Unión Europea, y aproximadamente 750 millones son de construcción y demolición. Más bien, la preocupación reside en el desenlace de estos residuos una vez finalizada su vida útil, ya que el reciclaje y aprovechamiento de estos es sustancialmente mejorable.

Precisamente en la UE, los nuevos objetivos vinculantes para el reciclaje, el envasado y el vertido se fijaron en 2018. El objetivo de estas nuevas reglas es promover el cambio hacia un modelo más sostenible conocido como la economía circular deseada en la UE. En marzo de 2020, la Comisión Europea publicó un plan de acción para la economía circular que pretende reducir la producción de residuos mediante una mejor gestión de los recursos. Estas deben incluir leyes más estrictas sobre reciclaje y objetivos vinculantes para 2030 de reducción de la huella ecológica por el uso y consumo de materiales. Los eurodiputados también reclamaron a los países de la UE que incrementaran el reciclaje de alta calidad, dejaran de lado los vertederos y minimizaran la incineración. Por ello, en particular, los residuos de construcción y demolición debería ser una de las principales categorías para tener en cuenta, debido a su importancia por el gran volumen tanto de generación como de consumo de los residuos, además del problema de espacio físico en vertederos.

Aparte de esta problemática, surge otra no menos importante, y es que, debido a la constante utilización de materias primas, comienzan a escasear, lo que conlleva el exponencial aumento de precio.

La motivación de este trabajo sin duda ha surgido precisamente de esta necesidad de recuperar y reutilizar estos RCD y así intentar solventar la que es, como hemos visto, una gran preocupación social y económica, ya que supone un problema generalizado, que ataca a muchos sectores y empresas.

En concreto el TFG se centrará, como se ha indicado, en los residuos de construcción y demolición (RCD's) que se generan en su mayor parte en rechazos de edificios de nueva construcción, derribos u obras de reformas. Como se ha mencionado anteriormente, esto genera un problema ambiental debido a su volumen, pero también

se ha explicado que esta no es la única motivación de su reciclaje, ya que, ante la escasez de las materias primas y su consecuente encarecimiento, surge la necesidad de la búsqueda de alternativas. El tratamiento en las plantas de reciclaje por ello es conveniente que esté lo más optimizado posible, consiguiendo la mayor cantidad de recursos, de la mejor calidad. Por esto, se estudiará la influencia de la planta de tratamiento sobre estos áridos producidos.

Los recursos que actualmente se procesan son de una amplia variedad de materiales como cerámicos, residuos del hormigón, material bituminoso y en menor medida, otros componentes como madera, vidrio, plásticos, metales... con distintas propiedades y necesidades que deben ser tenidas en cuenta, ya que han de ser tratados de forma distinta y además su presencia en el árido final estará vinculada a la calidad del mismo.

En resumen, con este proyecto se busca estudiar la influencia de las plantas de reciclaje sobre la recuperación de los residuos, con el objetivo de obtener los mejores resultados, encontrando el balance calidad-cantidad óptimo. Se parte para ello de entender y explicar su problemática y así también se comprenderá la necesidad de una buena gestión bajo directrices de la legislación vigente en la actualidad.

## **1.1. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este trabajo consiste en el estudio del tratamiento de los residuos de construcción y demolición en los distintos tipos de plantas de reciclaje. Para esto, se partirá de 100.000 toneladas de RCD's, elección motivada por la generación de residuos en el área de Santander y anexos, a partir de una estimación en base a los residuos de construcción y demolición generados por habitante, que se explicará con detenimiento en el apartado tres.

Se plantearán diferentes tratamientos en las cuatro diferentes plantas de reciclaje, para entender mejor tanto el problema en el origen como criterios que ayuden a valorar mejor la influencia del tipo de planta

Los residuos pueden llegar a la planta de forma segregada o mezclada, siendo esta última dividida en tres grupos, que son: mezclado pétreo, mezclado de metales y mezclado genérico de RCD's.

La segregación se tiene que producir en el momento de la demolición, ya que es la forma en la que empieza el proceso. Hasta el momento no es habitual que el porcentaje de segregación sea alto, debido principalmente a la escasez de medios que lo posibiliten, pero es cierto que la segregación inicial es una gran ayuda en el proceso. En este proyecto se partirá siempre de un 15% de segregación de los residuos, una cifra mejorable, pero realista dadas las circunstancias actuales.

Serán tratados cuatro tipos de plantas: planta básica, intermedia, desarrollada y avanzada, cuya principal diferenciación reside básicamente en que en la avanzada e intermedia se mantiene en todo el proceso los grupos de mezclado por separado, se trabaja por lotes, y en la básica y desarrollada esto no se tiene en cuenta y los residuos se tratan en conjunto. Además de que la avanzada y desarrollada cuentan con una maquinaria más variada y actualizada.

Gracias a esto será posible valorar el desempeño de los distintos tipos de plantas sobre la misma cantidad de residuos y el mismo porcentaje de segregación y la influencia de la separación de los residuos en el proceso.

A la vista de ese desempeño de los distintos tipos de planta, se presentará una propuesta tentativa para el tratamiento de los RCD en el área de Santander en base a los resultados obtenidos, aunque, sin duda, están abiertas muchas líneas de trabajo e investigación, con el objetivo común a contribuir a la mejora de la situación de las plantas de RCD de la región.

Estos resultados, se evaluarán las diferentes plantas según criterios técnicos, ambientales y económicos.

Los criterios técnicos consistirán en evaluar la calidad de los áridos reciclados producidos por las plantas, los ambientales por su lado valorarán la capacidad de recuperación de recursos de las plantas de tratamiento y, por último, los criterios económicos se basarán en evaluar de forma aproximada los ingresos que generan la venta tanto de productos pétreos como no-pétreos reciclados, obtenidos de nuevo en cada una de las plantas.

## **2. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

### **2.1. DEFINICIÓN**

Se denomina RCD a todos los sobrantes que proceden tanto de canteras, graveras y otros puntos de extracción de áridos, como de rechazos procedentes de la fabricación de materiales destinados a la edificación o a la obra civil, así como obras de nueva construcción, rehabilitación o restauración de edificaciones u obras y reformas domiciliarias de pequeñas dimensiones.

A pesar de la gran cantidad de residuos que se producen en la construcción y de su tremenda importancia económica y ecológica, no existen datos fiables de la cantidad generada anualmente. La disparidad de los datos precisamente se debe a que gran parte de los residuos no está controlada y se producen y abandonan sin el menor registro.

Sin embargo, en lo que sí que coinciden las mediciones es en la composición aproximada de los residuos, aproximadamente 75% de residuos inertes de origen pétreo, “escombros”, y el 25% restante una combinación.

### **2.2. PROPIEDADES DE LOS RCD's**

Las propiedades varían de acuerdo con la composición de los materiales, por lo que es necesario hacer una distinción entre los componentes principales y secundarios. Se considera como áridos reciclados cerámicos a aquellos que contienen al menos un 65% en peso de los siguientes componentes: ladrillos y ladrillo silico-cacáreo mezclados o no con hormigón.

#### Propiedades físicas

Al igual que en los áridos reciclados procedentes del hormigón, la absorción de agua es una de las propiedades físicas del árido reciclado del tipo cerámico que presenta una mayor diferencia con respecto al árido natural. Según los estudios consultados, la absorción del árido cerámico grueso suele variar entre 6 y 25%, aunque cuando el árido reciclado incorpora además de material cerámico otros materiales como hormigón o árido natural, la absorción suele situarse por debajo del 12%. La fracción

fin del árido reciclado presenta valores mucho mayores, hasta un 30%. La saturación de estos áridos se produce después de 30 minutos sumergidos en agua.

En cuanto a la densidad se refiere, depende del tipo de ladrillo usado y de la cantidad de arena utilizada en la fabricación de los ladrillos. Como orden de magnitud se puede considerar que la densidad del ladrillo triturado está entre 1200 y 1800 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad del conjunto está comprendida entre 1000 y 1500 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del árido reciclado cerámico es inferior a la de un árido reciclado de hormigón, y por supuesto es también inferior a la de un árido natural.

### Propiedades químicas

Un problema asociado a la utilización de los áridos reciclados cerámicos es la presencia de impurezas, sobre todo de madera, yeso y vidrio.

El contenido de sulfatos – que puede ser debido a la presencia de mortero en los escombros, piezas de yeso u otros contaminantes-, no debería de exceder de 1% en peso del árido seco. Aún con valores de sulfato del 1%, si los áridos reciclados se utilizan en la fabricación de hormigón, este puede sufrir una apreciable pérdida de resistencia, principalmente cuando el contenido de cemento es bajo.

Cuando se utiliza ladrillo triturado como principal componente, la pérdida por ignición es menor de 5% en peso. Si se utiliza ladrillo silico-calcáreo u hormigón la pérdida es mayor.

## **2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS RCD's**

Los residuos se pueden clasificar de varias formas:

- Según su origen, pueden ser:
  - Residuos procedentes de puntos de extracción de áridos o puntos de la obra donde se realicen movimientos de tierras puros, que son residuos de origen pétreo sin contaminación por otras sustancias.
  - Residuos procedentes de obras de construcción, que son residuos compuestos fundamentalmente de escombros (el 75%) y otros materiales procedentes de la obra, con una gran cantidad de plástico y papel.

- Residuos procedentes de obras de demolición, que son residuos con composición similar a los de las obras de construcción, pero mucho más contaminados, lo que dificulta su clasificación y gestión.
- Según su naturaleza, los RCD pueden ser:
  - Residuos inertes, formados por restos de hormigón, ladrillos, tejas, vidrio y cualquier tipo de tierra o canto.
  - Residuos no peligrosos, compuestos por madera, algunos plásticos, papel, yeso, textiles y la mayor parte de los metales.
  - Residuos peligrosos, formados por pinturas y disolventes (incluidos los envases), plomo, amianto y sus derivados y residuos radioactivos.

## **2.4. ORIGEN DE LOS RESIDUOS**

La ley de residuos y suelos contaminados (Ley 22/2011) con las modificaciones introducidas en la Ley 5/2013, define como “residuos” cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar. Más específicamente, según el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, residuos de construcción y demolición (RCD's) es cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de “residuo” se genera en una obra de construcción o demolición.

El concepto de obra de construcción y demolición, a los efectos de este Real Decreto abarca las actividades consistentes en la construcción, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, y otro análogo de ingeniería civil. Asimismo, también se consideran en este ámbito la realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos con exclusión de los residuos procedentes de industrias extractivas.

Si bien la definición de RCD's abarca a cualquier residuo que se genere en una obra de construcción y demolición, el ámbito de aplicación del Real Decreto 105/2008 exceptúa los siguientes:

- Las tierras y piedras no contaminadas por sustancias peligrosas reutilizadas en la misma obra, en una obra distinta o en una actividad de restauración, acondicionamiento o relleno, siempre y cuando pueda acreditarse de forma fehaciente su destino de reutilización.
- Los residuos regulados por el RD 975/2009 con las modificaciones introducidas por el RD 777/2012, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.
- Los lodos de dragado no peligrosos reubicados en el interior de las aguas superficiales derivados de las actividades de gestión de las aguas y de las vías navegables, de prevención de las inundaciones o de mitigación de los efectos de las inundaciones o sequías.

Los RCD's proceden en su mayor parte de derribos de edificios o rechazos de los materiales de construcción de las obras de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas o urbanizaciones. Se conocen habitualmente como escombros. Las competencias sobre el control de su producción y gestión corresponden a las Comunidades Autónomas, a excepción de los RCD's procedentes de obras menores domiciliarias, cuya gestión corresponde a las Entidades locales.

Una parte importante de estos residuos se llevan a vertederos, creando de esta forma un gran impacto visual y paisajístico, además de un impacto negativo al rechazar materiales que, con un adecuado tratamiento, podrían ser reciclados. Se hace por tanto necesaria su correcta gestión, de forma que se consiga reducir las cantidades generadas y aprovechar el potencial que tienen como material secundario.

En la práctica, los RCD's que son procesados para su reciclaje incluyen una variada serie de materiales, entre los que se encuentran los productos cerámicos, residuos de hormigón, material asfáltico y en menor medida otros componentes como madera, vidrios, plásticos, etc. Según el Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición de la Comunidad de Madrid, la composición media de residuos es la que recoge el gráfico 2.1, la cual es la que se considera en este proyecto.



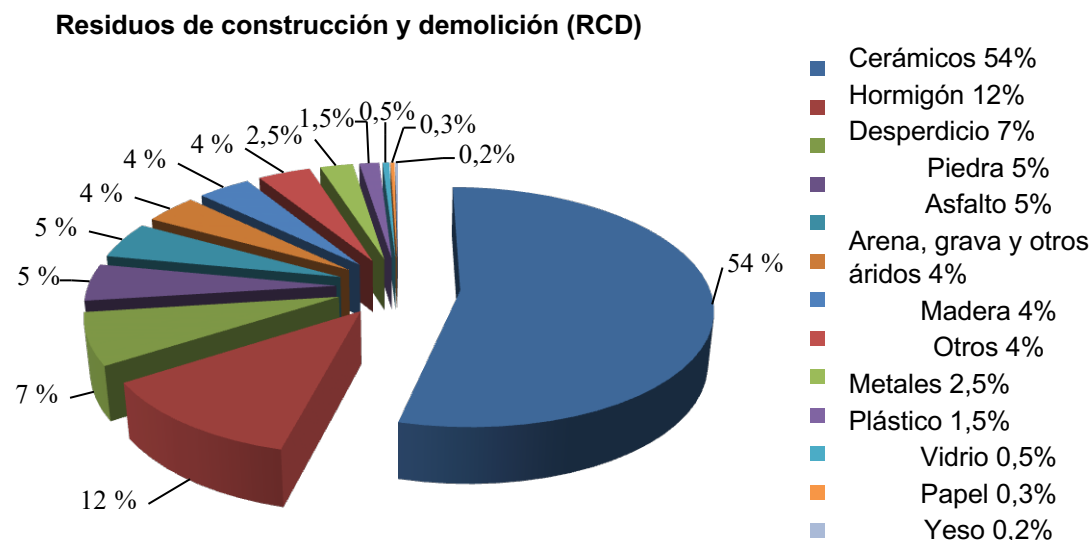


Gráfico 2.1: Composición de los residuos de construcción y demolición. Fuente: CEDEX, (2010)

Cabe destacar que los **cerámicos** pueden tener dos orígenes muy diferentes:

- Residuos producidos en las operaciones de *demolición de estructuras* de edificación. En España la mayor parte de los residuos de demolición lo forman este tipo de residuos, y proceden principalmente de demoliciones de edificaciones. En este tipo de residuos se engloban materiales muy variados como pueden ser: ladrillo, ladrillo silico-calcáreo, mezclado o no con hormigón, y pueden contener un elevado porcentaje de impurezas en el caso de que no se realice una demolición selectiva.
- En menor medida, ladrillos *elaborados en fábricas*, que son rechazados por no cumplir las especificaciones pertinentes. En este caso se trata de materiales muy homogéneos y libres de impurezas.

Los escombros de **hormigón**, sin embargo, proceden mayoritariamente de las *demoliciones* de obra civil.

## 2.5. IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental se define como cualquier modificación producida en el medio a causa de la acción humana. Según esta definición podría entenderse que el impacto

podría ser incluso beneficioso, y así es, puede que el impacto sea positivo, negativo o neutro.

Los RCD producen impactos ambientales negativos en:

- El medio inerte, que se define como la parte del entorno compuesta por el medio físico, es decir, el clima, la atmósfera, la geología y la hidrología (tanto superficial como subterránea).
- El medio biótico, que se define como la parte del medio natural compuesta por las condiciones edáficas del suelo, la vegetación y la fauna.

El medio humano, que se define como las condiciones socioeconómicas, las condiciones de calidad ambiental de los seres humanos, los sistemas de aprovechamiento de recursos, la calidad y presencia de patrimonio y las condiciones perceptuales del medio (el paisaje).

Los principales impactos negativos debidos a los RCD en el medio inerte son:

- El consumo de materias primas y energía.
- Las modificaciones geomorfológicas.
- La contaminación de acuíferos.
- La contaminación de ríos.
- La contaminación atmosférica.

Los principales impactos negativos debidos a los RCD en el medio biótico son:

- La pérdida de hábitat por la extracción de materias primas.
- La pérdida de hábitat por la ocupación de suelos para el vertido.
- La pérdida de calidad edáfica en los suelos en los que se han acopiado residuos, aunque se retiren posteriormente.

Los principales impactos negativos debidos a los RCD en el medio humano son:

- El ruido y las vibraciones por el tráfico de vehículos pesados, tanto en la extracción como en el vertido.
- La degradación paisajística en entornos eminentemente naturales por el vertido y la extracción.

- La degradación paisajística en entornos eminentemente urbanos por la acumulación de residuos en solares, descampados y márgenes de calles y caminos.
- La ocupación de suelos en entornos urbanos que podrían destinarse a otros usos.

## **2.6. PRODUCTO ÁRIDO RECICLADO**

Hay que diferenciar dos fases en el procesamiento de los RCD's: la demolición y el reciclado de los materiales.

- 1) Demolición: si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición que reduzcan in situ los escombros a tamaños que puedan ser tratados por el triturador primario de la planta de reciclaje. Asimismo, los procesos de demolición selectiva son fundamentales para disminuir la presencia de impurezas en los escombros, por ejemplo, el yeso.
- 2) Reciclado: abarca el proceso de tratamiento en planta de los residuos desechados para su recuperación y reutilización posterior o vertido. A continuación, se detallan los tipos de plantas de reciclaje de RCD's existentes, junto con el proceso de reciclado de un tipo planta que sirve como planta modelo para este trabajo.

### Plantas de Transferencia

Son instalaciones para el depósito temporal de residuos de la construcción que han de ser tratados o eliminados en instalaciones localizadas a grandes distancias. Su cometido principal es agrupar residuos y abaratar costes de transporte, si bien en ocasiones se efectúa en ella algún proceso menor de triaje y clasificación de las fracciones, con lo que se mejora la gestión en las plantas de tratamiento y vertederos.

### Plantas de Tratamiento (reciclado)

Son instalaciones de tratamiento de los RCD's, cuyo objetivo es seleccionar, clasificar y valorizar las diferentes fracciones que contienen estos residuos, con el objetivo de

obtener productos finales aptos para su utilización directa, o residuos cuyo destino será otro tratamiento posterior de valorización o reciclado, y si este no fuera posible, de eliminación en vertedero.

Las plantas de producción de áridos reciclados son bastante similares a las plantas de machaqueo de áridos naturales, incluyen machacadoras, cribas y dispositivos de transporte (cintas transportadoras, cangilones, etc.). Adicionalmente, disponen de equipos para la eliminación de contaminantes y electroimanes para la separación del acero.

La planta de tratamiento debe asegurar unas máximas distancias de transporte, es decir, situarse lo más cerca posible del centro de la ciudad donde se originan la mayoría de los residuos de la construcción y donde se da una más amplia demanda de los áridos reciclados. También se pueden habilitar vertederos temporales de residuos (plantas de transferencia) y pequeñas plantas móviles que pueden emplearse para un tratamiento primario de los residuos.

Los sistemas de procesamiento utilizados dependerán de la aplicación final que se le vaya a dar al material reciclado y de la cantidad de impurezas que contenga.

Las plantas de tratamiento se pueden clasificar en:

- Plantas de 1ª generación: carecen de mecanismos de eliminación de materiales perjudiciales para la calidad del producto árido reciclado final, a excepción del acero.
- Plantas de 2ª generación: añade al tipo anterior sistemas mecánicos o manuales de eliminación de contaminantes previos al machaqueo, y elementos de limpieza y clasificación del producto machacado, por vía seca o húmeda. Son las más extendidas en el reciclado del hormigón.
- Plantas de 3ª generación: dirigidas a una reutilización prácticamente integral de otros materiales secundarios, considerados como contaminantes de los áridos generados.

Además, se puede realizar otra clasificación de las plantas según su capacidad de desplazamiento:

- Plantas móviles: están constituidas por maquinaria y equipos de reciclaje móviles que, aun disponiendo de una ubicación de referencia como almacén,

suelen desplazarse a las obras para reciclar desde el origen. Utilizan un remolque de lecho plano como plataforma para el equipo de precibado, trituración, separación magnética y cribado final, junto con transportadoras, conductos y controles. Los sistemas se pueden montar en menos de un día mediante el despliegue de patas hidráulicas y la subida y alineación del equipo para conseguir un correcto flujo de materiales. Pueden procesar hasta 100 toneladas a la hora, suponiendo que la alimentación sea del mismo tamaño y que se emplee la separación magnética y los sistemas de cribado.

- Plantas fijas: son instalaciones de reciclaje ubicadas en un emplazamiento fijo, con autorización administrativa para el reciclaje de los RCD's, cuya maquinaria de reciclaje (fundamentalmente los equipos de trituración) es fija y no opera fuera del emplazamiento donde está ubicada. Estas plantas son en líneas generales, similares a las empleadas para el machaqueo de los áridos naturales, si bien incorporan de forma específica elementos para la separación de impurezas y otros contaminantes. Generalmente incluyen varios procesos de trituración y pueden procesar entre 300 y 400 toneladas por hora.

A continuación, se describe brevemente el proceso completo de reciclado de RCD's en una planta tipo, fija de 2ª generación, que como se verá más adelante es la que más se identifica con el tipo de plantas estudiadas en este proyecto. Todo proceso de reciclado de RCD's comienza con la recepción de los materiales, donde se realiza la inspección visual y pesaje. Una vez realizada la tarea de inspección, entran en juego las líneas de tratamiento, en las que se trituran, limpian y clasifican los RCD's con el fin de obtener un producto reciclado potencialmente reutilizable.

- 1) Proceso de recepción del material: el proceso de reciclaje se inicia con la recepción y pesaje de los camiones que llegan a planta. Se realiza entonces una inspección visual del material para determinar el acopio al que van a ser destinados. Existen varios tipos de acopio, los principales son los formados por escombros de carácter pétreo (residuos limpios) y los formados por todo tipo de residuos (residuos mixtos), que suelen poseer un porcentaje de contenido de materiales contaminantes mayor, como plásticos, papel, madera, etc. Actualmente también existe el acopio de residuos segregados. Consisten en

lotes de residuos que han sido segregados en el origen y que poseen excelentes características para su tratamiento en planta.

Como se verá más adelante, existen plantas que mezclan todos los residuos formando una única línea de tratamiento, o bien plantas que emplean tratamientos específicos que dependen de las propiedades del acopio de residuos y forman varias líneas de tratamiento.

En la inspección visual y pesaje, sobre todo en los grupos de residuos segregados, se extraen aquellos materiales que poseen propiedades contaminantes para el producto reciclado árido final o bien, poseen un alto valor de mercado.

- 2) Líneas de tratamiento: consisten en la trituración, limpieza, y separación de los RCD's introducidos en planta, con el fin de la obtención de productos reciclados potencialmente reutilizables.

La trituración se lleva a cabo mediante trituradoras de mandíbula o de impacto, y su principal función es la de obtener un tamaño de partícula determinado a la salida de planta para la producción de los productos áridos reciclados. Existen dos fracciones de salida, una fracción con un tamaño de partícula fina y otra con un tamaño de partícula gruesa. La fracción gruesa se emplea para la producción de productos áridos reciclados de mayor calidad, al formar una mezcla limpia y sobre la que los tratamientos de extracción y separación resultan más eficientes. Sobre la fracción fina los procesos de extracción y separación resultan más complicados, es por ello por lo que conforman una mezcla heterogénea con un alto grado de impurezas y consiguientemente se emplean en la producción de productos áridos de menor calidad.

La limpieza de las agrupaciones de RCD's, radican en la extracción de materiales contaminantes o que poseen propiedades perjudiciales para el producto árido final. Suelen ser materiales no pétreos como plásticos, metales, madera, papel, etc. Algunos poseen altos valores de venta en los mercados, por ejemplo, los metales, por lo que resulta muy conveniente separarlos de la corriente principal. Existen varios tipos de máquinas para este cometido, los imanes magnéticos para la extracción del acero, tamizadoras por flujo de aire, sacudidoras por humedad y espirales entre otras. También puede llevarse a

cabo mediante el clasificado manual sobre cinta transportadora. Por último, el proceso de separación se lleva a cabo mediante las cribas vibratorias o rotatorias. Su función principal reside en la separación por tamaño de los residuos tratados en planta. De esta forma, se consiguen separar la fracción gruesa de la fina y destinar cada una de ellas a específicas líneas de tratamiento.

### **2.6.1. Propiedades de los áridos reciclados**

Se entienden como áridos reciclados a aquellos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Las características de los áridos reciclados dependen (CEDEX, 2010):

- De las características de los materiales de los que proceden.
- De las características de los equipos de machaqueo utilizados en su producción.
- De la naturaleza de los cribados que se hayan realizado.
- De los procedimientos empleados para eliminar impurezas.

Los áridos reciclados se dividen en áridos reciclados procedentes del hormigón y áridos reciclados cerámicos o procedentes de residuos mixtos.

#### **❖ Árido reciclado procedente de hormigón**

Los áridos reciclados procedentes de hormigón presentan cierta heterogeneidad en sus propiedades, debida principalmente a las distintas características de los hormigones que llegan a la planta de reciclado, a los sistemas de trituración empleados y a la presencia de impurezas.

En general, la calidad del árido reciclado está claramente condicionada por la fracción considerada, presentando las fracciones finas unas peores propiedades (disminución de la densidad, aumento de la absorción de agua, mortero, impurezas, partículas ligeras, terrones de arcilla, así como mayor contenido de cloruros y de sulfatos). Seguidamente se presentan las propiedades físicas y químicas más relevantes de este tipo de árido.

➤ Propiedades físicas del árido procedente del hormigón:

El árido reciclado procedente del hormigón original tras el proceso de trituración es una mezcla de árido grueso o grava ( $\geq 4$  mm) y árido fino o arena ( $< 4$  mm). El porcentaje de árido grueso que se obtiene varía del 70% al 90% de la masa total del hormigón original.

La fracción gruesa posee una distribución granulométrica adecuada para casi todas las aplicaciones de material granular en construcciones, incluso en la producción de un nuevo hormigón, aunque suelen presentar un mayor porcentaje de desclasificados inferiores.

En cuanto al coeficiente de la forma del árido reciclado, es similar al del árido natural, pudiendo presentar un porcentaje de lajas inferior.

La textura de los áridos reciclados suele ser rugosa y porosa, debido a la presencia del mortero de cemento que queda adherido a los áridos.

La densidad es muy similar a la del hormigón original y algo menor que la densidad del árido natural empleado para la producción de dicho hormigón, entre un 5-10% menor, aunque se considera un árido de densidad normal ( $> 2000 \text{ kg/m}^3$ ). En el caso de las arenas recicladas (árido fino), el valor de su densidad es inferior a la de las gravas, por su mayor contenido de pasta de cemento adherida, estando la densidad real en la generalidad de los casos por debajo de  $2,4 \text{ kg/m}^3$ . Se puede establecer el control de la densidad como un índice de la uniformidad del árido reciclado.

La diferencia más marcada entra las propiedades de los áridos reciclados y los convencionales, es la absorción del agua, que depende de la composición original, situándose los valores más habituales entre 4-9%.

➤ Propiedades químicas del árido procedente del hormigón

La caracterización química de los áridos reciclados de hormigón es similar a la del residuo del que proceden. Una parte de los componentes de hidratación del cemento quedan adheridos a las partículas, y se acumulan especialmente en el caso de las más finas.



Entre los principales posibles contaminantes en los áridos reciclados se pueden considerar: las arcillas y los suelos en general; el betún, los polímeros y los filleres expansivos procedentes de los sellados de juntas, el yeso, los ladrillos, materiales orgánicos, metales, vidrio, áridos ligeros, partículas de hormigón dañadas en un incendio, diversas sustancias reactivas y hormigón de cemento aluminoso. La presencia de estos contaminantes en los áridos reciclados debe evaluarse y limitarse para controlar los efectos sobre el nuevo hormigón o producto a que vayan a ser destinados.

La gran heterogeneidad de los áridos reciclados y la incorporación de algunas impurezas, puede producir contaminación por lixiviados, especialmente cuando el árido reciclado se utiliza en aplicaciones diferentes al hormigón, como rellenos o carreteras, y cuando proceden de residuos de edificación, donde la concentración de impurezas es mayor.

#### ❖ Árido reciclado procedente de cerámicos o de residuos mixtos

Las propiedades varían de acuerdo con la composición de los materiales, por lo que es necesario hacer una distinción entre los componentes principales y secundarios. Se considera como áridos reciclados cerámicos a aquellos que contienen al menos un 65% en peso de los siguientes componentes: ladrillos y ladrillo silico-cacáreo mezclados o no con hormigón.

##### ➤ Propiedades físicas del árido procedente de cerámicos/r.mixtos

Al igual que en los áridos reciclados procedentes del hormigón, la absorción de agua es una de las propiedades físicas del árido reciclado del tipo cerámico que presenta una mayor diferencia con respecto al árido natural. Según los estudios consultados, la absorción del árido cerámico grueso suele variar entre 6 y 25%, aunque cuando el árido reciclado incorpora además de material cerámico otros materiales como hormigón o árido natural, la absorción suele situarse por debajo del 12%. La fracción fina del árido reciclado presenta valores mucho mayores, hasta un 30%. La saturación de estos áridos se produce después de 30 minutos sumergidos en agua.

En cuanto a la densidad se refiere, depende del tipo de ladrillo usado y de la cantidad de arena utilizada en la fabricación de los ladrillos. Como orden de magnitud se puede considerar que la densidad del ladrillo triturado está entre 1200 y 1800 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad del conjunto está comprendida entre 1000 y 1500 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del árido reciclado cerámico es inferior a la de un árido reciclado de hormigón, y por supuesto es también inferior a la de un árido natural.

➤ Propiedades químicas del árido procedente de cerámicos/r. mixtos

Un problema asociado a la utilización de los áridos reciclados cerámicos es la presencia de impurezas, sobre todo de madera, yeso y vidrio.

El contenido de sulfatos – que puede ser debido a la presencia de mortero en los escombros, piezas de yeso u otros contaminantes-, no debería de exceder de 1% en peso del árido seco. Aún con valores de sulfato del 1%, si los áridos reciclados se utilizan en la fabricación de hormigón, este puede sufrir una apreciable pérdida de resistencia, principalmente cuando el contenido de cemento es bajo.

Cuando se utiliza ladrillo triturado como principal componente, la pérdida por ignición es menor de 5% en peso. Si se utiliza ladrillo silico-calcáreo u hormigón la pérdida es mayor.

## **2.6.2. Aplicaciones de los áridos reciclados**

La utilización de árido reciclado es cada vez más habitual en el campo de la construcción, en ámbitos muy variados como son la construcción de explanaciones (terraplenes y rellenos), capas de firmes carretas, o en la fabricación del hormigón.

Los destinos de estos materiales reciclados dependerán de la naturaleza o composición mayoritaria de los residuos. Así, mientras que para las explanaciones se suelen utilizar materiales procedentes tanto de residuos cerámicos, como de asfalto, de hormigón o mezclas de estos, para otras aplicaciones más restrictivas, como la fabricación de hormigón, los materiales reciclados suelen proceder de residuos de hormigón o en algunos casos de mezcla de residuos de hormigón y cerámicos.

Cada una de estas aplicaciones obliga a fijar distintos niveles de exigencias en las propiedades del árido reciclado.

### ❖ Árido reciclado procedente de hormigón

Los áridos reciclados procedentes del hormigón son empleados en un amplio número de aplicaciones, siendo las siguientes las más destacadas (CEDEX, 2010):

- *Obras de tierra y terraplenes*: los residuos de la demolición de estructuras de hormigón pueden emplearse en obras de tierra y terraplenes. Para esta valorización hay que tener en cuenta la homogeneidad del residuo, así como la ausencia de armaduras, contaminantes, y granulometría. No obstante, empleo de estos escombros “limpios” en terraplén supone desaprovechar las posibilidades de estos materiales. Si a pesar de ello se utilizan en obras de tierra, se haría como si de materiales naturales se tratara. Para prevenir la expansividad, hay que prestar atención al azul de metileno y al contenido en sulfatos, mientras que en la puesta en obra son la absorción de agua y la naturaleza frágil de los áridos reciclados, las variables a atender especialmente.
- *Carreteras*: la incorporación de los materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición a la infraestructura de una carretera puede hacerse, siempre que se cumplan las condiciones técnicas y medioambientales exigidas, como materiales para explanaciones; en terraplenes y rellenos, y como áridos reciclados para distintas capas del firme. En España las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de materiales en terraplenes y rellenos se recogen en los artículos 330 y 332 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- *Edificación y obra pública*: las principales aplicaciones de los áridos procedentes de hormigón triturado son: árido grueso para hormigones, y árido fino para morteros y cementos.
- *Árido para hormigón estructural*: en general, los áridos gruesos reciclados procedentes de hormigón pueden ser utilizados tanto para hormigón en masa como para hormigón armado, manteniéndose los criterios de dosificación de los hormigones convencionales. Se recomienda limitar el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total del árido grueso. Con esta limitación, las propiedades finales del hormigón reciclado

(mecánicas y de durabilidad) apenas se ven afectadas en relación con las que presenta un hormigón convencional, siendo necesaria, para porcentajes superiores, la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación. No se recomienda la utilización de arenas recicladas procedentes de hormigón para esta aplicación.

- *Árido para hormigón no estructural*: la utilización de árido reciclado procedente de hormigón no estructural está incluida en el Anejo 18 de la EHE, permitiéndose hasta un 100% de árido grueso reciclado, siempre y cuando se cumplan las especificaciones definidas.
- *Árido fino para morteros*: una alternativa al empleo de estos áridos reciclados es su utilización como arena para la producción de morteros. Estos morteros con árido fino reciclado experimentan un aumento notable de demanda de agua. Como consecuencia de esta elevada demanda de agua, las arenas recicladas no son recomendables para la fabricación de morteros de buena calidad. Si se consideran, sin embargo, adecuadas para la fabricación de morteros de baja resistencia, donde la consistencia obtenida es similar a la que proporcionan las arenas naturales calizas.
- *Cementos fabricados con finos procedentes de hormigón*: para este fin se utiliza una mezcla de finos menores de 5mm procedentes de hormigón machacado, escorias de horno alto pulverizadas o lodos con desechos de cemento procedente de las plantas de fabricación de hormigón, 2-3% de yeso y un acelerado inorgánico de fraguado. Comparando hormigones que tienen la misma consistencia y resistencia a compresión, hechos con cemento reciclado y con cemento Portland con escorias, se obtiene que presentan características similares en cuanto al desarrollo de la resistencia en el tiempo, retracción de secado y la resistencia a heladas, mientras que el calor de hidratación es menor y la profundidad de carbonatación mayor al utilizar cementos reciclados.

#### ❖ Árido reciclado procedente de cerámicos o de residuos mixtos

Al igual que los áridos procedentes del hormigón, estos tipos de áridos se emplean en numerosas aplicaciones (CEDEX, 2010):

- *Obras de tierra y terraplenes*: los escombros y la mampostería pueden utilizarse en terraplenes y obras de tierra con las adecuadas condiciones de homogeneidad y limpieza, siendo muy recomendable eliminar el yeso por la posibilidad de causar reacciones expansivas. Esto implica notables costes, por lo que el objetivo es producir áridos que puedan ser utilizados en usos de mayor valorización, como capas de firme de modo que se puedan compensar en la medida de lo posible dichos costes. En el caso de áridos reciclados heterogéneos que no contengan sustancias peligrosas ni contaminantes inertes se podrían utilizarse en la construcción de rellenos y terraplenes.
- *Carreteras*: los áridos reciclados procedentes de materiales cerámicos no cumplen en general las especificaciones que se exigen en nuestro país a los áridos para capas de firme como zahorras o materiales tratados con cemento. En el País Vasco se han hecho unos tramos de prueba para comprobar, a escala real, algunas características del árido reciclado mixto relacionadas con su puesta en obra y su comportamiento mecánico. Los resultados de compactación muestran que el árido reciclado presenta un buen comportamiento a compactación, alcanzado densidades en torno a la óptima. La respuesta mecánica de la explanada de árido reciclado se controló con deflectómetro de impacto. Los resultados muestran que la explanada construida con árido reciclado es semejante a la respuesta de la de árido de cantera (Ihobe & Cedex, 2011).
- *Edificación y obra pública*: la aplicación de este tipo de áridos en el respectivo sector se encuentra considerablemente limitada. Su principal uso se da en la producción de hormigones y morteros. Dada la reducida densidad del árido mayoritariamente cerámico, estaría en condición de árido ligero, por lo que puede ser de aplicación para la obtención de hormigones ligeros sin finos. En cambio, el árido mixto puede utilizarse para la fabricación de un hormigón no ligero de aplicación en la construcción de estructuras de hormigón en masa y hormigón armado, tales como muros de sótano, pilas de hormigón, bloques de hormigón, todo tipo de productos de hormigón armado prefabricado, etc. La resistencia de este tipo de hormigón reciclado disminuye considerablemente en relación con la del hormigón normal.

### 3. SITUACIÓN EN ÁREA DE SANTANDER Y ANEXOS

Santander es la capital de Cantabria, que es una comunidad autónoma situada al norte de España, que cuenta aproximadamente con 5321 km<sup>2</sup> de extensión y unos 582.905 habitantes (INE, 2020). Concretamente el 45% de la población se sitúa en el área de Santander. Es por ello por lo que allí se centrará la mayor parte de la actividad constructiva de la región y será interesante contextualizar allí el estudio.

Cantabria está dividida en base a las especificaciones técnicas indicadas en el Plan Sectorial de los RCD's de Cantabria (BOC,2010a) para alcanzar una óptima gestión de residuos. Las cinco áreas en las que Cantabria es dividida son las siguientes: (i) Área I: Santander, envuelve la capital de la provincia y las zonas limítrofes, se trata de un área con una alta densidad de población y que dispone de todo tipo de infraestructuras;(ii) Área II: Besaya, con un alto nivel de actividad industrial y donde se localiza la segunda ciudad más importante de la provincia; (iii) Área 3: Área del este, un área con un alto nivel de turismo y con una extensión considerable de terrenos de gran valor ambiental; (iv) Área IV: Área del sur, con una baja densidad de población rodeada de altas montañas, y con un clima continental; (v) Área V: Área del oeste, también rodeada de altas montañas y con el nivel más reducido de densidad de población, posee un gran valor paisajístico. Como se puede ver, cada área presenta diferentes características socioeconómicas y consiguientemente, diferentes formas de generación de residuos. Tal como se muestra en las figuras 3.1 y 3.2, este trabajo está centrado en el área 1.

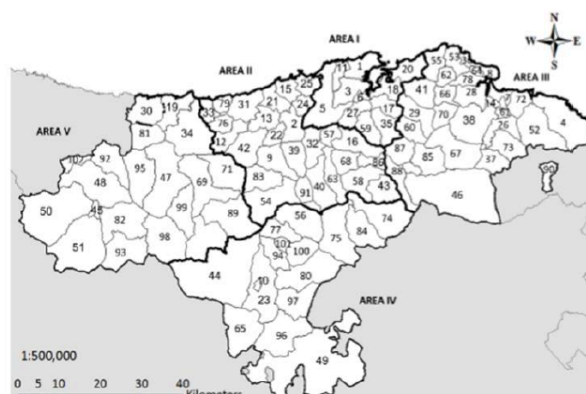


Figura 3.1: Mapa de Cantabria dividido por áreas.



Figura 3.2: Municipios del área de Santander.

España en general y Cantabria en particular, experimentó un incremento en la construcción en el llamado periodo de la burbuja inmobiliaria, periodo comprendido entre 2003 y 2006. Esto obviamente produjo también un notable aumento en los residuos de construcción y demolición, que se depositaron en vertederos y empezaron a suponer un grave problema, no por su peligrosidad, sino un problema medioambiental. Además, esto conlleva rechazo social a la industria de la construcción, ya que se relaciona con la degradación ambiental. Por último, también supone un problema económico, ya que esto supone una pérdida de recursos potenciales y valiosos.

La Figura 3.3 muestra la evolución del tratamiento de RCD en Cantabria desde 2001 hasta 2013.

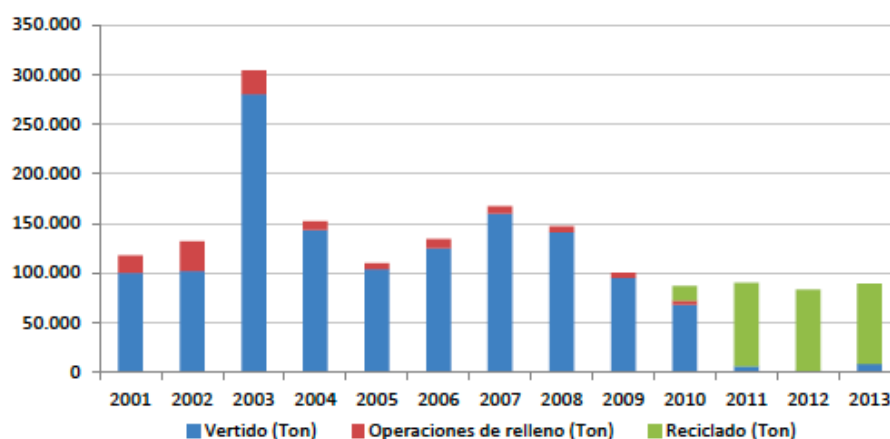


Figura 3.3: Tratamiento de RCD en los años estudiados en Cantabria. Fuente: Elena Dosal, 2015

En 2010, se desarrolló el Decreto 72/2010 de gestión de RCD's (BOC, 2010b) y se prohibió la eliminación en vertedero sin tratamiento previo para los RCD's, y el relleno

se consideró inadecuado aplicarlo con los RCD no tratados previamente. Esta situación condujo a la creación de nuevas empresas para el reciclaje de estos RCD's, instalándose la primera planta de reciclaje en Cantabria a finales de 2010. Además, la ley 6/2009 de medidas fiscales y de contenido presupuestario (BOC, 2009), impuso una tasa específica para desincentivar el tratamiento en vertedero de los residuos, que asciende a 7 euros por tonelada de RCD destinados a vertedero.

En la figura se observa que la tendencia de la cantidad contabilizada por las instalaciones de tratamiento no es constante en los años estudiados, puesto que depende de la actividad constructiva.

Centrándonos en el tratamiento de estos residuos, hasta 2010 se observa que la gestión tradicional es el vertido y una pequeña cantidad se destina a relleno, pero en 2011 la cantidad destinada a vertedero es sorprendentemente menor que el año anterior. Esto se debe a la legislación desarrollada en Cantabria, en la que el destino a vertedero sin tratamiento previo (BOC, 2010b), lo que obliga a destinar estos residuos a un tratamiento intermedio. También se prohibió el destino de estos residuos a operaciones de relleno, y por esta razón, no se encontraron operaciones de relleno en los siguientes años 2011-2013, y una gran cantidad se destinó al reciclaje.

La composición de estos residuos es bastante difícil de estimar, ya que las cantidades destinadas a vertedero antes de 2010 fueron clasificadas por el CER, pero sin información sobre el origen de estos residuos, no estando claro si los residuos producidos en otro sector podrían incluirse en estos datos, o si los residuos producidos por el sector de la construcción no se contabilizan porque se codifican con otros CER.

A partir del año 2010, cuando las plantas de reciclaje comenzaron a estar operativas, la composición de los RCD's resulta más fácil de determinar al disponer de datos reales.

Con todo ello se concluye que Cantabria es una región con una cantidad de generación de RCD's interesante para ser tratada, y en particular en Santander. En la tabla 3.1 se recogen las municipalidades agrupadas y el número de habitantes que viven en dichas municipalidades, recogidos por el Instituto Nacional de Estadística en el año 2020, que estiman así la generación de los RCD's del área en cuestión.



Tabla 3.1: Generación total de residuos correspondiente a la región de Cantabria, concretamente en la zona de Santander y alrededores. Fuente: Elaboración propia.

AREA I	Numeración	Municipalidades	Hab 2020	% Population	Generation (tons)
Santander y límitrofes	3	Camargo	30320	5,20	10.612,0
	6	Astillero	18134	3,11	6.346,9
	35	Lierganes	2407	0,41	842,5
	18	Marina de Cudeyo	5106	0,88	1.787,1
	17	Medio Cudeyo	7577	1,30	2.652,0
	59	Penagos	2142	0,37	749,7
	5	Pielagos	25731	4,42	9.005,9
	20	Ribamontan al mar	4478	0,77	1.567,3
	11	Santa Cruz de Bezana	13088	2,25	4.580,8
	1	Santander	173375	29,75	60.681,3
	27	Villaescusa	3933	0,67	1.376,6
TOTAL ÁREA I			286291		100.201,9
TOTAL CANTABRIA			589905		

Se estiman alrededor de 0,35 toneladas de RCD generadas anualmente por habitante (INE, 2020), lo que supone alrededor de 100.000 toneladas de RCD generadas anualmente en el área de Santander y limítrofes, por lo que se ha escogido esta cifra para la realización del trabajo.

Tabla 3.2: Generación total de residuos correspondiente a toda la región de Cantabria, dividida por las diversas políticas de segregado y mezclado, los cuales conforman las entradas de las plantas de reciclaje. Fuente: Elaboración propia.

Grupo	CER	Descripción	Ton
Segregado	17 01 01	Hormigón	1.080,00
	17 01 01	Hormigón reforzado	720,00
		Acero	62,61
	17 01 02	Ladrillos	5.700,00
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.400,00
	17 02 01	Madera	600,00
	17 02 02	Vidrio	75,00
	17 02 03	Plástico	225,00
	17 03 02	Mezcla bituminosa	750,00
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,24
	17 04 02	Aluminio	0,24
	17 04 03	Plomo	7,84
	17 04 04	Zinc	0,24
	17 04 05	Hierro y Acero	297,39
	17 04 06	Estaño	6,19
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,24
	17 05 04	Piedras y tierra	750,00
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	30,00
	17 06 04	Material aislante	1.050,00
Mezclado	17 01 07	Mezclado pétreo	40.440,49
	17 04 07	Mezclado de metales	1.239,15
	17 09 04	RCD mezclado	44.565,36
TOTAL			100.000

## 4. TRATAMIENTO DE LOS RCD's EN LAS PLANTAS DE RECICLADO

### 4.1. COMPOSICIÓN INICIAL DE LOS RCD'S

El primer paso consiste en definir la cantidad total de RCD's generados en Santander y anexos, heca en el apartado anterior, con 100.000 toneladas. Una vez se tiene la cantidad total de residuos generados fijada, el siguiente paso consiste en determinar el porcentaje para cada uno de los diferentes tipos de residuos. Estos diferentes tipos de residuos se definen como potenciales componentes de RCD's que se producen sobre la base hipotética de que no son mezclados en la fuente. Los porcentajes de los componentes de los RCD's se obtienen del Catálogo de residuos que utilizan en la construcción, desarrollado por CEDEX (CEDEX, 2010), el cual utiliza resultados obtenidos en un estudio de la composición de los RCD's llevado a cabo por la Comunidad Autónoma de Madrid en sus vertederos. Los porcentajes propuestos en este estudio pueden consultarse en la tabla 4.1, donde los RCD's son clasificados en grandes corrientes de residuos agrupados por sus características y propiedades. Con el objetivo de establecer una correspondencia adecuada de los residuos generados, las corrientes de residuos son identificados mediante los códigos establecidos por el Catálogo Europeo de Residuos (CER).

Tabla 4.1: Composición típica en España de los RCD's. Fuente: CEDEX

Grupo	Tipo de residuo	%	CER	Flujo de residuos
Pétreo	Piedras	5	17 05 04	Piedras
	Hormigón	12	17 01 01	Hormigón
	Ladrillos, azulejos y cerámicos	38	17 01 02	Ladrillos
		16	17 01 03	Azulejos y Cerámicos
	Arena, grava y otros agregados	4		Arena grava y otros agregados
No Pétreo	Asfalto	5	17 03 02	Mezcla bituminosa
	Metales	2,5	17 04 01	Cobre, bronce y latón
			17 04 02	Aluminio
			17 04 03	Plomo
			17 04 04	Zinc
			17 04 05	Hierro y acero
			17 04 06	Estaño
			17 04 11	Cables
	Madera	4	17 02 01	Madera
	Vidrio	0,5	17 02 02	Vidrio
	Plástico	1,5	17 02 03	Plástico
	Yeso	0,2	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso
	Desperdicio	7	17 06 04	Material aislante
	Otros	4	15 01 06	Embalaje mezclado
	Papel	0,3	15 01 01	Empaques de papel y cartón
TOTAL		100		

Como se puede observar en la tabla 4.1, algunas suposiciones han de tenerse en cuenta:

- 1) Para empezar, se establece una primera clasificación de residuos en base a su carácter pétreo, dividiendo el listado de corrientes de residuos en pétreos o no pétreos. En base a estudios realizados por las plantas de reciclaje de los RCD's se considera que de la totalidad de los RCD's entrantes a planta el 80% poseen carácter pétreo (CEDEX, 2010).
- 2) En cuanto al hormigón armado, si se tiene en cuenta los indicadores desarrollados por estudios realizados (Mália et al., 2013), se puede estimar que el 40% del hormigón generado como residuo se trata de hormigón armado. No obstante, esta cantidad podría reducirse al 20% si se aplicase una correcta segregación en la fuente.
- 3) En el caso de los materiales cerámicos, basándonos en los residuos generados en la construcción típica de Cantabria, se asume que del 54% de materiales cerámicos producidos, el 70% se asocia a los ladrillos, siendo el porcentaje restante para los azulejos y otro tipo de cerámicos (Dosal E., 2015).
- 4) Para la clasificación de los metales, estos se dividen en metales férreos (hierro y acero), metales no férreos (estaño, aluminio, cobre, bronce latón, zinc y cables) y metales pesados (plomo). En base a estudios corroborados por los managers de las instalaciones de los RCD, se asume que el 96% es Hierro y acero, 1.65% de estaño, 0.26% de metales no férreos que se dividen en partes iguales entre el aluminio, cobre, bronce y latón, zinc y cables y el 2.09% restante de metales pesados principalmente constituidos por plomo (Coelho and De Brito, 2013a). Se observa que a medida que se fija la cantidad total de metales ferrosos, se puede deducir la cantidad relativa de hierro y acero contenida en el hormigón armado, usando una regla general sobre el hormigón armado y la densidad del hormigón.
- 5) Otro aspecto para tener en cuenta es el de la corriente de plástico, ya que no está compuesto por el mismo tipo de plástico, aunque se agrupen bajo el mismo código. El tipo de plástico predominante es el PVC, debido a que se utiliza en tuberías y conductos, revestimientos de suelos y paredes, marcos de ventanas, perfiles y forros que constituyen el 47% del peso total de los plásticos. El resto

del plástico está formado por plástico que no es ni PVC ni film, ya que el film se considera como una componente perteneciente a la corriente del embalaje mixto (Envirowise, 2006).

6) Finalmente, se considera que los desperdicios (17 06 04) forman la corriente de los materiales aislantes, estando formada por una mezcla de materiales como madera, fibra de vidrio y poliuretano. En cuanto a la corriente de residuos denominado "otros", se considera como embalaje mixto al no poder situarlo en otra corriente de residuos. Esta corriente contiene un 58.63% de paletas de madera, 24.67% de cartones y 16.7% de films de polietileno (Envirowise, 2006).

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la cantidad total generada por cada corriente de residuos puede ser observada en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Toneladas de cada residuo según los porcentajes clásicos de composición en base a cien mil toneladas. Fuente: Elaboración propia

Grupo	Tipo de residuo	CER	Flujo de residuos	Cantidad(Toneladas)
Pétreo	Piedras	17 05 04	Piedras	5.000
	Hormigón	17 01 01	Hormigón	12.000
	Ladrillos, azulejos y cerámicos	17 01 02	Ladrillos	37.800
		17 01 03	Azulejos y cerámicos	16.200
	Arena, grava y otros agregados		Arena, grava y otros agregados	4.000
	Asfalto	17 03 02	Mezcla bituminosa	5.000
No Pétreo	Metales	17 04 01	Cobre, bronce y latón	1,63
		17 04 02	Aluminio	1,63
		17 04 03	Plomo	52,25
		17 04 04	Zinc	1,63
		17 04 05	Hierro y acero	2.400
		17 04 06	Estaño	41,25
	Madera	17 04 11	Cables	1,63
		17 02 01	Madera	4.000
	Vidrio	17 02 02	Vidrio	500
	Plástico	17 02 03	PVC	705
			Otros plásticos(no PVC, no film)	795
	Yeso	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	200
	Desperdicio	17 06 04	Material aislante	7.000
	Otros	15 01 06	Embalaje mixto(paletas de madera)	2.345
			Embalaje mixto(cartones)	987
			Embalaje mixto(film de polietileno)	668
	Papel	15 01 01	Empaques de papel y cartón	300
TOTAL				100.000

## 4.2. MANAGER DE RCD'S

Como se ha podido ver anteriormente, los RCD's consisten en diferentes corrientes de residuos, y se pueden clasificar en segregados o mezclados. Sin embargo, no todas las corrientes de residuos son destinadas a la planta de reciclaje, muchas de ellas son vendidas directamente a los managers de residuos dependiendo del valor del material y los subsecuentes procesos requeridos. En la tabla 3.3 se puede observar el destino de cada una de las corrientes de residuos analizadas en este estudio (Cedex, 2010).

Tabla 4.3: Destino de cada corriente de residuos. Fuente: Elaboración propia

	CER	Descripción	Destino
Segregado	17 01 01	Hormigón	Planta de reciclaje
	17 01 01	Hormigón armado	Planta de reciclaje
	17 01 02	Ladrillos	Planta de reciclaje
	17 01 03	Azulejos y ceramicos	Planta de reciclaje
	17 02 01	Madera	Planta de reciclaje
	17 02 02	Vidrio	Manager de residuos
	17 02 03	Plastico	Planta de reciclaje
	17 03 02	Material bituminoso	Planta de reciclaje
	17 04 01	Cobre, bronce, latón	Manager de residuos
	17 04 02	Aluminio	Manager de residuos
	17 04 03	Plomo	Manager de residuos
	17 04 04	Zinc	Manager de residuos
	17 04 05	Hierro y acero	Manager de residuos
	17 04 06	Estaño	Manager de residuos
	17 04 11	Cables	Manager de residuos
	17 05 04	Piedras y tierra	Planta de reciclaje
	17 08 02	Materiales de construcción basados en yeso	Planta de reciclaje
	17 06 04	Material aislante	Planta de reciclaje
Mezclado	17 01 07	Mezclado pétreo	Planta de reciclaje
	17 04 07	Mezclado de metales	Manager de residuos
	17 09 04	RCD mezclado	Planta de reciclaje

Básicamente las corrientes de residuos metálicas y de vidrio son vendidas directamente debido a su alto valor y los beneficios económicos asociados en el caso de los metales, y por su puesto por su potencial de reciclamiento. En las plantas de reciclaje de los residuos de construcción y demolición, la mayoría de las corrientes de residuos son destinadas a la producción de productos reciclados, pero otros materiales, como la madera y el plástico, son clasificados por tipos, almacenados y finalmente vendidos a otros managers de residuos para su posterior tratamiento.

### **4.3. TIPOS DE PLANTA**

Una vez se han determinado las diferentes composiciones de los residuos de construcción y demolición, es ahora cuando se presentarán los diferentes tipos de plantas a analizar en este trabajo. No obstante, antes de adentrarse en el proceso de la planta es necesario hacer hincapié en el tipo de tratamiento de los diferentes residuos y luego se incidirá en la presentación de la maquinaria existente en cada tipo de plantas.

#### **4.3.1. Tipo de tratamiento en planta para corriente RCD**

Si bien los diferentes tipos de planta a analizar disponen de procesos de tratamiento y maquinaria diferente, algunas corrientes de residuos recibirán el mismo tipo de tratamiento independientemente del tipo de planta. Se debe tener en cuenta que algunas corrientes de residuos son perjudiciales para la calidad de los productos reciclados que obtenemos a la salida de planta o también pueden dañar la maquinaria de la planta de reciclaje, por lo que habrá que tratarlos de forma manual por separado o almacenarlos directamente.

Estos tratamientos manuales y de directo almacenados solo pueden aplicarse sobre corrientes de residuos que vienen segregadas y son fáciles de identificar. Aquellas corrientes de residuos que forman la entrada a la planta en forma de mezclado de los RCD's o de mezclado pétreo son siempre destinadas al proceso de la planta para su tratamiento.

A continuación, en la tabla 4.4, se puede ver claramente que las corrientes segregadas son casi siempre almacenadas directamente en contenedores o tratadas manualmente con la excepción del "Hormigón", "Ladrillos" y los "Azulejos y cerámicos", que son tratados en la planta de reciclaje al ser los principales componentes de los productos reciclados.

Hay casos como el hormigón, que recibe distinto tratamiento según el tipo de planta. En las plantas básica, intermedia y desarrollada, se trata de forma manual y parte se reintroduce al proceso de la planta de reciclaje. Sin embargo, en la planta avanzada, al disponer de maquinaria más especializada, no es necesario ese tratamiento manual.

Por otro lado, los que son almacenados directamente, se diferencian aquellos que son destinados a la venta por su valor o los que simplemente son evitados en el proceso porque perjudican la calidad de los productos reciclados finales.

En la tabla 4.4 se describe claramente el tipo de tratamiento que recibirá cada corriente de residuo. El tratamiento manual del hormigón se realizará en las plantas básica, intermedia y desarrollada, y en la avanzada, continuará el proceso.

Tabla 4.4: Tipo de tratamiento que recibirá cada residuo. Fuente: Elena Dosal, 2015.

Grupo	CER	Descripción	Tipo de tratamiento	Descripción del tratamiento
Segregados	17 01 01	Hormigón	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
	17 01 01	Hormigón reforzado	Manual	El 30% del hormigón y del acero se recupera manualmente, lo restante forma los bloques de hormigón armado. El acero recuperado se vende directamente, mientras que el hormigón recuperado es triturado hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
			Proceso	Se recupera la totalidad del hormigón y acero, siguiendo un proceso de triturado adecuado.
	17 01 02	Ladrillos	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
	17 01 03	Azulejos y Cerámicos	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado.
	17 02 01	Madera	Almacenado	Se almacena directamente para su posterior venta.
	17 02 03	Plástico	Manual/Almacenado	El PVC es separado del resto del plástico, para el almacenado y posterior venta. Se considera que el 47% del plástico es PVC.
	17 03 02	Material bituminoso	Almacenado	Se almacena directamente para su posterior venta.
	17 05 04	Piedras y tierra	Almacenado	Posee una alta cantidad de materia orgánica que otorga malas propiedades al producto reciclado, por lo que es almacenado directamente sin pasar por el proceso.
	17 08 02	Yeso para construcción	Manual/Almacenado	Otorga malas propiedades a los productos reciclados por lo que es separado y almacenado sin pasar por el proceso.
Mezclados	17 06 04	Material aislante	Almacenado	Posee propiedades perjudiciales para el producto reciclado, por lo que es almacenado directamente sin pasar por el proceso.
	17 01 07	Mezclado Pétreo	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado mientras se le van extrayendo los materiales valiosos o los que poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado.
	17 09 04	RCD Mezclado	Proceso	Se tritura hasta obtener un tamaño de partícula adecuado mientras se le van extrayendo los materiales valiosos o los que poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado.

#### 4.3.2. Descripción de los tipos de planta a estudiar

Para conseguir satisfacer las demandas que hoy en día nos requiere el ritmo constructivo, es necesario un correcto reciclaje de las materias primas. Europa y el mundo avanzan hacia una economía circular, y la industria de la construcción no puede ser menos, ya que aproximadamente el 30% de los residuos generados por la UE son precisamente RCD. Además, aparte del objetivo del 70% del reciclaje de los residuos para el 2020, también es interesante tener en cuenta su modificación en 2018, que establece objetivos para los RCD y para fracciones específicas para 2024. Se busca que estos RCD se conviertan en materias primas secundarias, conocidas como Áridos Reciclados (AR), interesantes en todas las calidades:

- Alta calidad: con propiedades estructurales adecuadas para la producción de hormigón y cimentación de carreteras.
- Calidad media: para carreteras, puertos, aeropuertos y material no consolidado como terraplenes.
- Baja calidad: para rellenos ambientales, rehabilitación de carreteras...

Una incorporación real de plantas de reciclaje eficaces es necesaria para conseguir ciclos de vida de los productos no lineales, y hacer que en lugar de que estos residuos acaben en vertederos, se conviertan en AR y comiencen su ciclo de vida de nuevo. Ahora bien, ¿Cuáles son las mejores practicas para la consecución de este objetivo?

Hay dos factores que hemos de tener en cuenta para esta transición (S. Iodice, E. Garbarino, M. Cerreta et al.):

- La llamada “construcción al revés”: esto es una demolición de forma inteligente, con la correspondiente segregación de los materiales y selección de estos.
- Conseguir mejorar la calidad de los áridos.

Existe vinculación entre ambas. El problema viene dado por que esa segregación es un tanto complicada por dos motivos principales: el primero, que encarece el precio de las demoliciones y el segundo, que requiere un nivel de especialización mayor de los trabajadores. Será objeto del trabajo, estudiar las condiciones que nos ofrece cada planta con un nivel de segregación realista y bajo (15%) y valorar la efectividad de cada una, con la misma cantidad de residuos para todas.

En este trabajo se estudiarán cuatro tipos de planta diferentes:

- Planta básica
- Planta intermedia
- Planta desarrollada
- Planta avanzada

Siendo la primera de ellas, la básica, la más simple de las cuatro. En este tipo de planta se produce un proceso de tratamiento sencillo, que va mejorando progresivamente en los otros dos tipos. Tanto la básica como en la intermedia tratan los residuos en conjunto, mientras que en la desarrollada y la avanzada se produce una separación por lotes. A continuación, se muestra en las figuras el esquema general para cada tipo de planta.



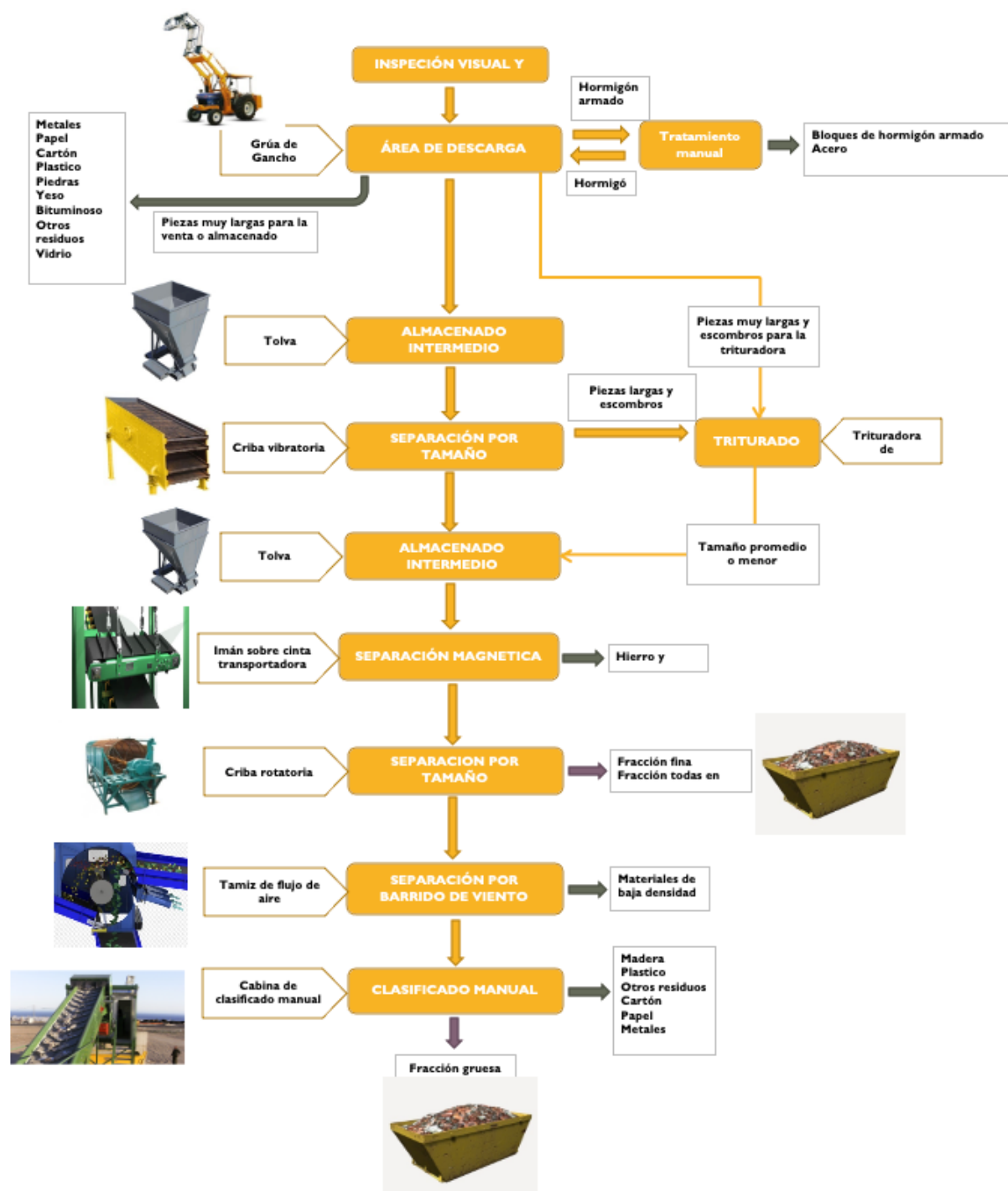


Figura 4.1: Esquema general de una planta básica e intermedia. Fuente: Elaboración propia

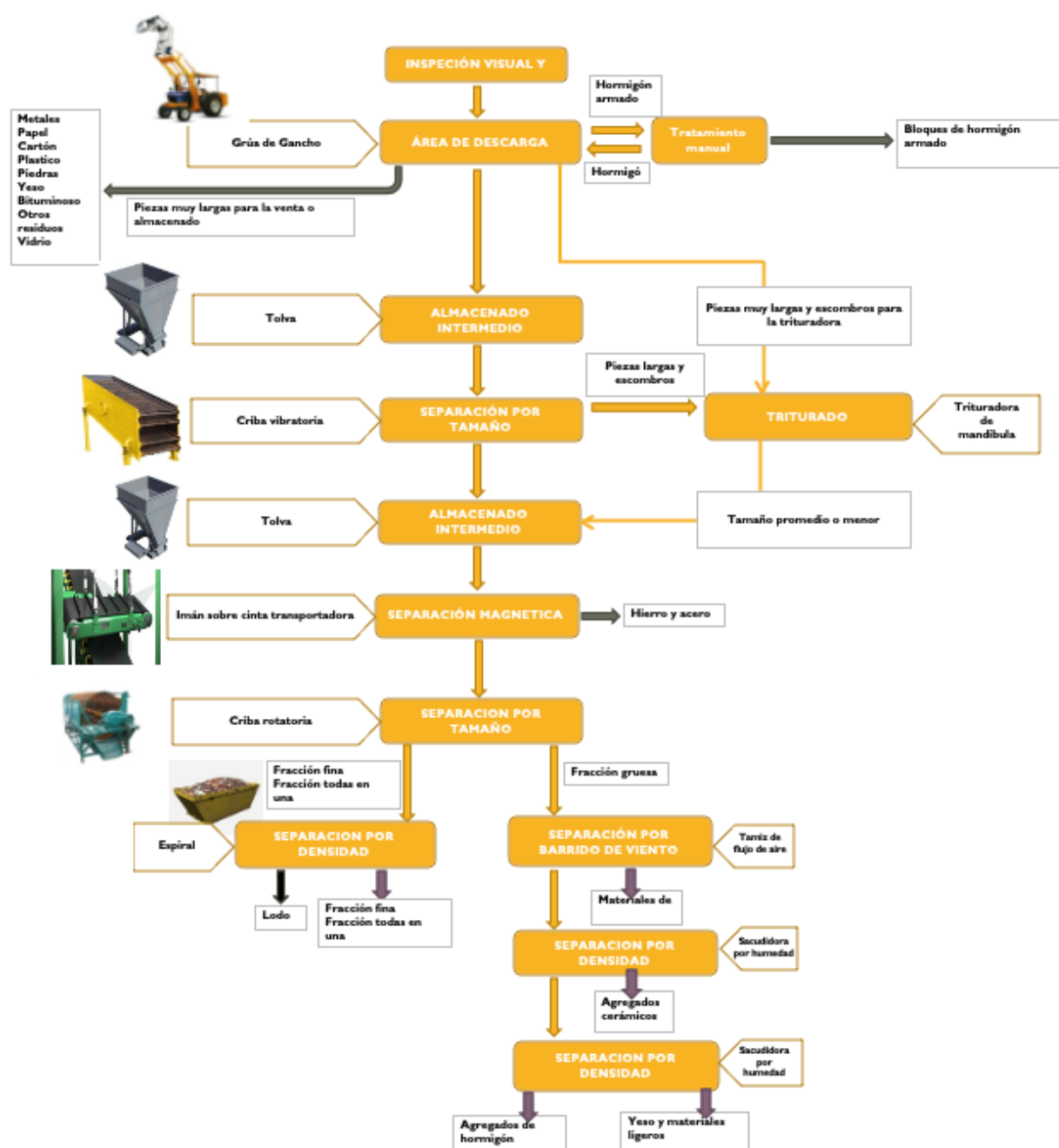


Figura 4.2: Esquema general de una planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

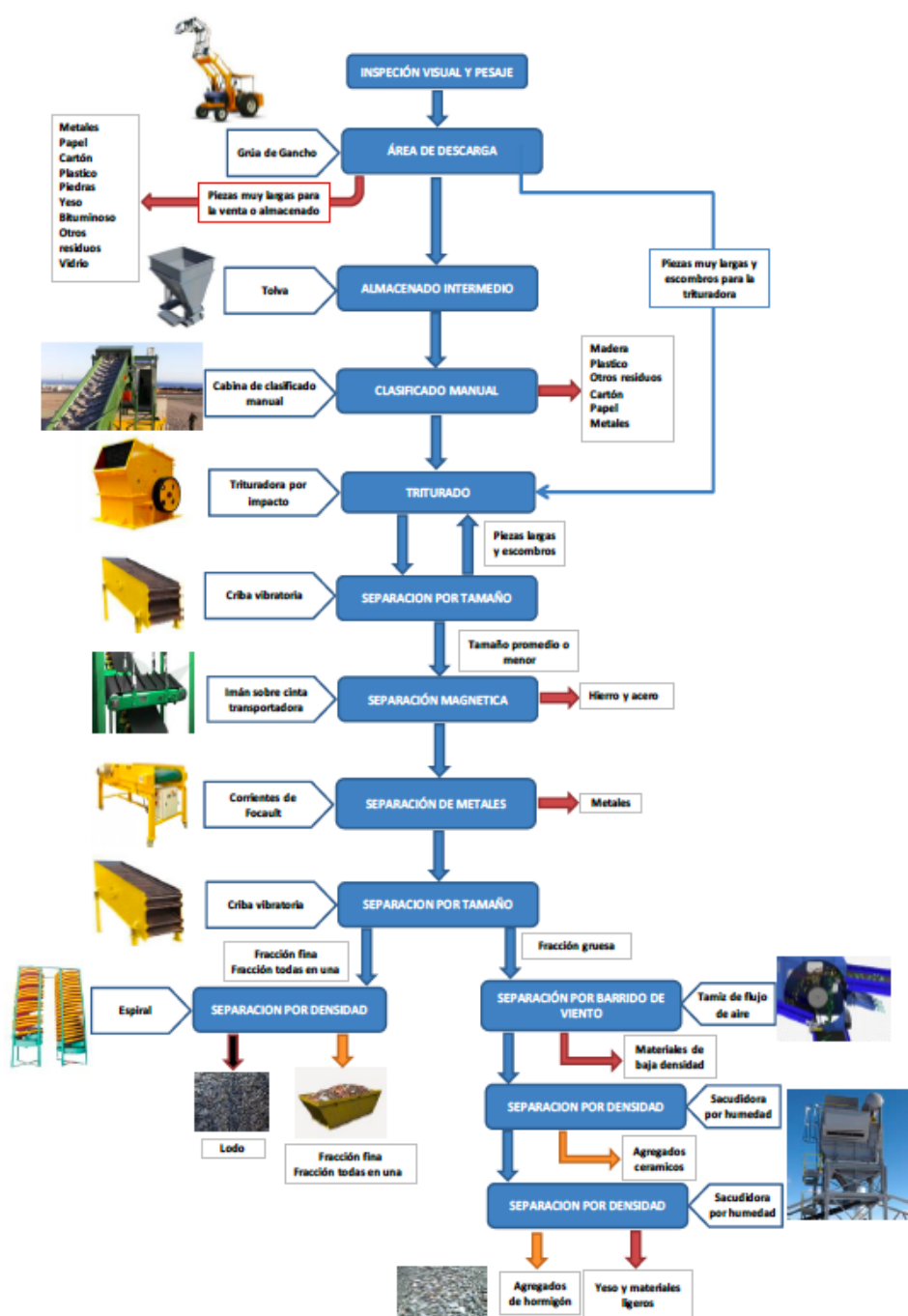


Figura 4.3: Esquema general de una planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

Se comprueba el aumento de maquinaria de la desarrollada y avanzada con respecto a la básica e intermedia y la sofisticación del proceso, y por ello el aumento de tipos de AR producidos. Además del tratamiento manual del hormigón, que como se ha comentado en líneas anteriores, deja de producirse en la avanzada. Una vez descrito el proceso y vista la maquinaria necesaria para cada uno, se procederá a explicar las distintas máquinas.

#### **4.3.3. Maquinaria dentro de la planta**

La tecnología y la maquinaria empleada en las plantas de reciclaje de los RCD's es un factor determinante a la hora de obtener productos reciclados de calidad ya que el empleo de una maquinaria inadecuada puede conllevar a obtener productos reciclados no deseados, o dañar y poner en peligro la infraestructura de la planta. Es por ello por lo que las plantas deben poseer un proceso de reciclado, donde los distintos tipos de residuos sean clasificados debida y posteriormente tratados con una maquinaria adecuada y específica a sus necesidades.

En este trabajo, se analizan cuatro diferentes tipos de plantas de reciclaje. Por un lado, se analiza el proceso de dos plantas de reciclaje con altas prestaciones, en la cual se dispone de una maquinaria variada y actualizada, y de un proceso de reciclaje complejo que permite obtener productos reciclados de alta calidad, denominadas como la planta desarrollada y la avanzada. Por otro lado, se analizará el proceso de otras dos plantas de reciclaje convencional, en la que se hace uso de una maquinaria básica, y se generan productos reciclados de menor calidad, denominadas como la planta intermedia y la básica.

Se definirán la maquinaria y el funcionamiento de esta.

La clasificación de los equipos de tratamiento de los residuos de construcción y demolición se puede dividir en tres grupos dependiendo de su principal función:

- a) Almacenado: el almacenado de los residuos de construcción juega un papel muy importante en las plantas de reciclaje. Se diferencia el almacenado intermedio, el cual se centra en el almacenado temporal de materiales que siguen el transcurso del proceso y el almacenado permanente, que puede ser tanto para almacenar residuos desechados, materiales valiosos que han sido

extraídos o para el almacenado final de los productos reciclados. Para el almacenado intermedio se emplean tolvas y para los permanentes contenedores.

b) Clasificado: en cuanto al clasificado, se distinguen tres tipos de clasificado.

- i. El clasificado manual, que consiste en la extracción de los materiales largos mediante el empleo de trabajadores en la cabina de clasificado manual o el uso de la grúa de gancho.
- ii. El clasificado por tamizado, que consiste en usar diferentes tipos de cribas para clasificar los materiales por tamaño de partícula.
- iii. Y el clasificado mecánico, cuyo fin principal es la separación de materiales perjudiciales del producto reciclado final, haciéndose uso de las propiedades de los materiales, como las propiedades magnéticas o la densidad.

c) Triturado: consiste en triturar las partículas de los residuos a un tamaño óptimo para obtener productos reciclados con una distribución de tamaño de partícula definida.

En la tabla 4.5, se puede observar la maquinaria empleada en cada planta de reciclaje y su función principal.

Tabla 4.5: Maquinaria empleada en cada planta de reciclaje y función principal. Fuente: Elena Dosal 2015

Función	Función específica	Equipo
Almacenado	Almacenado intermedio	Tolva
	Almacenado permanente	Contenedor
Clasificado	Clasificado manual	Extracción de materiales largos
		Cabina de clasificado manual Grúa con gancho
	Clasificado por tamizado	Clasificado por tamaño
		Criba vibratoria Criba rotativa
	Clasificado mecánico	Separación por propiedades
Triturado		Imán sobre cinta transportadora Corrientes Eddy Tamiz de flujo de aire Espiral Sacudidora por humedad
		Trituradora de mandíbula
		Trituradora por impacto
	Reducción del tamaño de partícula	

Como es lógico, muchos de los equipos se utilizan en los cuatro tipos de planta. A continuación, se procede a la explicación del funcionamiento de cada una de las

máquinas, y se determinan parámetros para tener en cuenta durante el proceso de reciclaje.

a) La **maquinaria de almacenado** está constituida por las tolvas y los contenedores, y se emplean en todos los tipos de planta.

- i. **Tolva:** la función principal de la tolva reside en el almacenaje temporal de los residuos que siguen el transcurso del proceso de la planta de reciclaje. Es un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros.



Figura 4.4: Tolva de almacenamiento. Fuente: Gester

- ii. **Contenedor:** el contenedor es un recipiente cuadrado donde se almacenan los materiales segregados que no siguen el proceso, materiales no deseados que son extraídos del árido que forma el producto reciclado o para el almacenamiento final del producto reciclado. Pueden estar fabricadas con materiales de distintas propiedades dependiendo del tipo de material que almacenen.



Figura 4.5: Contenedor estándar. Fuente: Construcciones metálicas del poniente.

**b) Clasificado:**

- i. El **clasificado manual** se procede mediante la cabina de clasificado manual y la grúa de gancho:
  - Cabina de clasificado manual: en la cabina de clasificado manual se separan los materiales largos de la corriente principal mediante la percepción visual de los trabajadores. Principalmente, materiales perjudiciales para la calidad final del producto reciclado o materiales de valor que serán destinados a la venta. Se estima que el 30% de la fracción larga de metales, plásticos, papel, cartón y madera son extraídos de la corriente principal en este proceso (Coelho and De Brito, 2013a). Al depender de la percepción visual de los trabajadores, este porcentaje solo se aplicará sobre la fracción larga de dichos materiales, siendo los materiales con un tamaño de partícula menor imperceptibles para la extracción manual.
  - Grúa de gancho: la grúa de gancho se emplea en el área de descarga de los RCD para una primera clasificación. Se utiliza para la extracción de materiales largos que deben de ser separados de la corriente principal. Pueden ser escombros de hormigón que tienen que ser destinados a la trituradora directamente, material de valor para la venta o materiales que perjudican la calidad del producto reciclado. Se considera que el 100% de los materiales excesivamente largos son extraídos en este proceso.



Figura 4.6: Grúa de gancho. Fuente: Transgruas

- ii. El segundo proceso de clasificado es el tamizado y consiste en la **separación por tamaño de partícula**, asumiéndose una separación perfecta en este proceso.
- Criba vibratoria: la criba vibratoria es una maquina compuesta por diferentes niveles de cintas transportadoras agujereadas y dispuestas en pendiente. Mediante la vibración constante de las cintas se consigue tamizar las partículas más pequeñas de la corriente principal. Al estar las cintas transportadoras perforadas con tamaño distinto, se consiguen tamizar materiales con un tamaño de partícula menor a 4mm, en dos lotes específicos, una fracción fina, con un tamaño de partícula entre 0.063 y 4mm, y otra fracción denominada todas en una, con un tamaño menor a 2mm. (Eatherley and Slater, 2009).

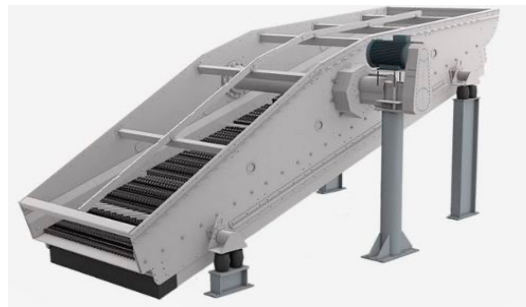


Figura 4.7: Criba vibratoria. Fuente: DirectIndustry

- Criba rotativa: la criba rotatoria es una máquina que consta de un tambor agujereado inclinado, el cual combina la fuerza centrífuga generada por la rotación del tambor para tamizar las partículas de tamaño pequeño a través de los agujeros del tambor, con la fuerza de gravedad que desplaza la corriente principal por el interior del tambor. El tambor consta de perforaciones de tamaño distinto en diferentes etapas longitudinales de tal forma que es capaz de separar materiales con un tamaño de partícula menor de 4mm, en dos lotes específicos al igual que la criba vibratoria, la fracción fina y la fracción todas en una. (Pinellas County, 2009)





Figura 4.8: Criba rotativa. Fuente: DirectIndustry

- iii. El último método de clasificado es el **clasificado mecánico**, y hace uso de las propiedades de ciertos materiales para separarlos de la corriente principal.
- Imán sobre cinta transportadora: uno de los métodos más conocidos del clasificado mecánico es la separación magnética. Se lleva a cabo mediante un imán en banda que se coloca transversal o longitudinalmente sobre la cinta transportadora a una distancia de trabajo fija. Cuando la corriente principal de residuos se traslada a través de la cinta transportadora, la fuerza de atracción magnética que ejerce el imán es capaz de extraer los materiales férreos, y una vez abandonan el área del campo magnético, caen automáticamente en contenedores específicos. Se considera que el 70% de los materiales férreos son extraídos de la corriente principal mediante este método, debido a que el rendimiento de la maquina no es perfecto y está condicionado por el tamaño de los materiales extraídos, así como por la potencia de esta (Coelho and De Brito, 2013a).



Figura 4.9: Imán sobre cinta transportadora. Fuente: DirectIndustry

- Corrientes de Foucault: otro de los métodos utilizados para separar los metales de la corriente principal utiliza las corrientes de Foucault. Consiste en el uso de un rotor magnético con polaridad alterna, que gira rápidamente dentro de un tambor no metálico accionado por una cinta transportadora. El campo magnético alterno que se origina crea corrientes parasitas en las partículas de metales no férreos repeliéndolos hacia fuera del transportador.

Mientras que la corriente principal sigue el transcurso de la cinta transportadora, los metales no férreos son destinados a una caja separadora para su clasificado. Al igual que el imán sobre cinta transportadora, se considera que este método es capaz de extraer el 70% de los metales no férreos de la corriente principal (Coelho and De Brito, 2013a).



Figura 4.10: Separador corrientes Foucault. Fuente: Direct Industry

- iv. La última propiedad utilizada para clasificar materiales en la **clasificación** mecánica es la **densidad**. Tres diferentes tipos de equipos hacen uso de esta propiedad para su separado.
- Tamiz de flujo de aire: Los tamices de aire funcionan sólo con residuos cuyo tamaño de partícula es mayor a 4mm y en una atmosfera de secado absoluto. El principio de este equipo reside en el empleo de ventiladores que soplan aire a través del flujo de residuos para extraer materiales de baja densidad como el papel, cartón, plásticos y madera. Se considera un 80% de separación,

debido a que las partículas de los materiales mencionados son susceptibles a quedarse atrapados entre otros tipos de residuos (Dosal E., 2015).

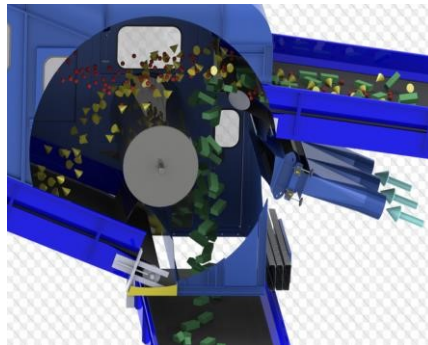


Figura 4.11: Separador por flujo de aire. Fuente: Direct Industry

- Espiral: los espirales se emplean en la planta tipo intermedia y avanzada para el separado húmedo por densidad de los residuos cuyo tamaño de partícula es menor a los 4mm. Su objetivo principal es separar las impurezas de la fracción fina de la corriente principal. La separación se efectúa en un 10% materiales cuya densidad mayor al  $2.000 \text{ kg/m}^3$ , en su mayoría materiales de carácter pétreo, y en un 100% para materiales cuya densidad es igual o menor al  $2.000 \text{ kg/m}^3$ , formando el lodo de salida. La otra salida la conforma la fracción fina del producto reciclado libre de impurezas (Dosal E., 2015).



Figura 4.12: Espiral. Fuente: Alibaba

- Sacudidora por humedad: esta máquina está destinada al separado por densidad de la fracción gruesa en la planta de reciclaje tipo intermedia y avanzada. El equipo se utiliza dos veces. En la primera fase se utiliza para separar el hormigón del resto de materiales que forman la mezcla, obteniendo dos corrientes de salida, el hormigón que es reintroducido en la máquina y una

corriente de residuos mezclados con alto porcentaje de agregados cerámicos. En la segunda fase, se separa el yeso del hormigón que es reintroducido, se requieren condiciones especiales para llevar a cabo esta separación. Para el separado del hormigón y separado posterior del yeso, se aplican porcentajes específicos de separado en función de la densidad del material. Estos porcentajes se especifican más adelante en los procesos de las plantas.



Figura 4.13: Sacudidora de humedad. Fuente: Alibaba

- c) Finalmente, la **maquinaria de triturado** está compuesta por la trituradora de mandíbula y la trituradora por impacto.
- i. **Trituradora de mandíbula:** la trituradora de mandíbula se emplea en las plantas de reciclaje tipo básica, intermedia y desarrollada, para la reducción del tamaño de partícula de los residuos de construcción y demolición. Su funcionamiento reside en un motor eléctrico que hace rotar a las poleas que conducen el eje excéntrico, haciendo que la mandíbula móvil se acerque y aleje periódicamente a la mandíbula fija, realizando múltiples trituraciones de extrusión, frotación y enrodillamiento. De esta forma el material es triturado y se disminuye el tamaño de partícula, para caer gradualmente, hasta que finalmente es evacuado por la salida. En aplicaciones de los RCD's, las trituradoras de mandíbula son las más utilizadas debido a su fácil operación, bajo mantenimiento y grandes aperturas de entrada.



Figura 4.14: Trituradora de mandíbula. Fuente: LECTURA Specs

- ii. **Trituradora por impacto:** la trituradora por impacto se utiliza en la planta de reciclaje tipo avanzada, para la reducción del tamaño de partícula de los residuos de construcción y demolición. Consta de un rotor unido a varios martillos que giran conjuntamente a gran velocidad, de tal forma que al introducir los residuos son triturados por el impacto de los martillos y lanzados a la placa de impacto, para ser devueltos otra vez a zona de impacto. El proceso se repite hasta que la descarga de los productos finales corresponde con la granularidad adecuada.



Figura 4.15: Trituradora por impacto. Fuente: Interempresas

## 5. RESULTADOS

Tabla 5.1: Entradas generales de todas las plantas. Fuente: Elaboración propia

				Total	% Total
<b>Segregado</b>	17 01 01	Hormigón	1.080,00	13.755,00	13,76
	17 01 01	Hormigón reforzado	720,00		
		Acero	62,61		
	17 01 02	Ladrillos	5.700,00		
	17 01 03	Azulejos y ceramicos	2.400,00		
	17 02 01	Madera	600,00		
	17 02 02	Vidrio	75,00		
	17 02 03	Plastico	225,00		
	17 03 02	Mezcla bituminosa diferente a 17 03	750,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,24		
	17 04 02	Aluminio	0,24		
	17 04 03	Plomo	7,84		
	17 04 04	Zinc	0,24		
	17 04 05	Hierro y Acero	297,39		
	17 04 06	Estaño	6,19		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,24		
	17 05 04	Piedras	750,00		
	17 08 02	en yeso	30,00		
	17 06 04	Material aislante	1.050,00		
<b>Mezclado pétreo ( 17 01 07)</b>	17 01 01	Hormigón	3.825,00	40.440,49	40,44
	17 01 01	Acero	221,74		
		Hormigón reforzado	2.550,00		
	17 01 02	Ladrillos	20.187,50		
	17 01 03	Azulejos y ceramicos	8.500,00		
		Arena, grava y otros agregados	2.500,00		
<b>Mezclado de metales (17 04 07)</b>	17 05 04	Piedras	2.656,25	1.239,15	1,24
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,97		
	17 04 02	Aluminio	0,97		
	17 04 03	Plomo	31,09		
	17 04 04	Zinc	0,97		
	17 04 05	Hierro y Acero	1.179,65		
	17 04 06	Estaño	24,54		
<b>RCD Mezclado (17 09 04)</b>	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,97	44.565,36	44,57
	17 02 01	Madera	3.400,00		
	17 02 02	Vidrio	425,00		
	17 02 03	Plastico	1.275,00		
	17 03 02	Material bituminoso	4.250,00		
	17 08 02	Yeso de construcción	170,00		
	17 01 01	Hormigón	2.295,00		
	17 01 01	Acero	133,04		
		Hormigón reforzado	1.530,00		
	17 01 02	Ladrillos	12.112,50		
	17 01 03	Azulejos y ceramicos	5.100,00		
	17 06 04	Material aislante	5.950,00		
	17 04 01	Cobre, Bronce y Latón	0,41		
	17 04 02	Aluminio	0,41		
	17 04 03	Plomo	13,32		
	17 04 04	Zinc	0,41		
	17 04 05	Hierro y Acero	505,57		
	17 04 06	Estaño	10,52		
	17 04 11	Cables diferentes al 17 04 10	0,41		
		Arena, grava y otros agregados	1.500,00		
	17 05 04	Piedras	1.593,75		
	15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00		
	15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00		
<b>TOTAL</b>			<b>100.000,00</b>		

En este punto, se estudiarán cuatro plantas distintas, pero con exactamente la misma entrada para las cuatro, 100.000 toneladas, y las mismas condiciones de segregación (15%).

De esas 100.000 toneladas sólo entrarán en la planta 98.373,46 toneladas, debido a que las 1.626,54 toneladas restantes son destinadas previamente como ha sido especificado en líneas anteriores, al manager de residuos y nunca llegan a entrar en la planta de reciclaje.

Esas toneladas que son destinadas al manager están compuestas prácticamente en su mayoría por metales separados previamente.

Tabla 5.2: Salida al manager de residuos y entradas a planta. Fuente: Elaboración propia.

AISLADO		TOTAL		
		A planta	MR	TOTAL
17 01 01	Hormigón	1.080,00	-	1.080,00
Hormigón reforzado	TOTAL	782,61	-	782,61
	Hormigón	720,00	-	720,00
	Acero	62,61	-	62,61
17 01 02	Ladrillos	5.700,00	-	5.700,00
17 01 03	Azulejos y Ceramicos	2.400,00	-	2.400,00
17 02 01	Madera	600,00	-	600,00
17 02 02	Vidrio	-	75,00	75,00
17 02 03	Plastico	225,00	-	225,00
17 03 02	Material bituminoso	750,00	-	750,00
17 04 01	Cobre, bronce, latón	-	0,24	0,24
17 04 02	Aluminio	-	0,24	0,24
17 04 03	Plomo	-	7,84	7,84
17 04 04	Zinc	-	0,24	0,24
17 04 05	Hierro y Acero	-	297,39	297,39
17 04 06	Estaño	-	6,19	6,19
17 04 11	Cables	-	0,24	0,24
17 05 04	Piedras soil	750,00	-	750,00
17 08 02	Yeso para construcción	30,00	-	30,00
17 06 04	Material aislante	1.050,00	-	1.050,00
17 09 04	C&DW mezclado	44.565,36	-	44.565,36
17 01 07	Mezclado petreo	40.440,49	-	40.440,49
17 04 07	Metales mezclados	-	1.239,15	1.239,15
TOTAL		98.373,46	1.626,54	100.000,00

## **5.1. PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE BÁSICA**

Una vez aclarados los tratamientos previos necesarios de los residuos de construcción y demolición antes de empezar el proceso de reciclaje, y una vez definida y mostrada la maquinaria utilizada en el proceso, es momento de proceder al detalle del desarrollo paso a paso del proceso de reciclaje. Serán utilizadas las cantidades de entrada anteriormente mostradas.

En este primer punto se explicará el proceso en una planta básica, que como anteriormente ha sido mencionado, se hace un uso de maquinaria básica y se generan productos de una menor calidad de reciclado. Son el tipo de plantas de las que dispone en Cantabria y son parecidas a las plantas móviles.

### **5.1.1. Inspección visual y pesaje**

La primera parte del proceso de reciclaje una vez pasado por el mánager de residuos consiste en esta inspección visual y el pesaje de los RCD's.

Las tablas mostradas a continuación son las cantidades exactas que forman parte de este proceso. Se ha prescindido de los metales y el vidrio de la corriente segregada, ya que se destinaron al mencionado mánager de residuos.

En primer lugar, cabe destacar que, respecto a la corriente de residuos segregados, sólo continúan en el proceso el hormigón y hormigón armado, azulejos y cerámicos y ladrillos, ya que el resto, son o bien tratados manualmente o almacenados para su venta. Es decir, que, de las 13.367,61 t, sólo continúan 9.396 t.

En realidad, también es considerable añadir que el hormigón que se reintroduce al proceso es el restante del tratamiento manual, cuyo objetivo es la separación del hormigón del acero y poder así triturarlo luego.

Por otro lado, tanto la corriente de RCD's como la corriente de residuos pétreos no recibe ningún trato en especial y pasa al área de descarga directamente.



Tabla 5.3: Cantidad de residuos segregados que corresponden a la inspección visual y pesaje.

Fuente: Elaboración propia.

Grupo	CER	Descripción	Ton
Segregado	17 01 01	Hormigón	1.080,00
	17 01 01	Total	782,61
	(Hormigón armado)	Hormigón	720,00
		Acero	62,61
	17 01 02	Ladrillos	5.700,00
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.400,00
	17 02 01	Madera	600,00
	17 02 03	Plástico	225,00
	17 03 02	Material bituminoso	750,00
	17 05 04	Piedras y tierra	750,00
	17 08 02	Yeso para construcción	30,00
	17 06 04	Material aislante	1.050,00
Total segregado			13.367,61

Tabla 5.4: Cantidad de residuos pétreos que corresponden a la inspección visual y pesaje. Fuente:

Elaboración propia.

Grupo	CER	Descripción	Ton
Pétreo mezclado	17 01 01	Hormigón	3.825,00
	17 01 01	Total	2.771,74
	(Hormigón armado)	Acero	221,74
		Hormigón	2.550,00
	17 01 02	Ladrillos	20.187,50
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	8.500,00
	Arena, grava y otros agregados		2.500,00
	17 05 04	Piedras y tierra	2.656,25
	Total pétreo mezclado		40.440,49

Se produce aquí el tratamiento manual del hormigón, antes mencionado. Esto consiste básicamente en separar el acero del hormigón para el correcto tratamiento de cada uno. Se considera que el 30% del acero y hormigón armado es recuperado manualmente, y es que el hormigón que se recupera se tritura y se reintroduce al proceso. Sin embargo, el acero separado sale del proceso y es almacenado para su posterior venta.

Tabla 5.5: Cantidad de residuos RCD que corresponden a la inspección visual y pesaje. Fuente: Elaboración propia.

Grupo	CER	Descripción	Ton
RCD Mezclado	17 02 01	Madera	3.400,00
	17 02 02	Vidrio	425,00
	17 02 03	Plástico	1.275,00
	17 03 02	Materia bituminoso	4.250,00
	17 08 02	Yeso de construcción	170,00
	17 01 01	Hormigón	2.295,00
	17 01 01	Total	1.663,04
	(Hormigón armado)	Acero	133,04
		Hormigón	1.530,00
	17 01 02	Ladrillos	12.112,50
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	5.100,00
	17 06 04	Material aislante	5.950,00
	17 04 01	Cobre, bronce y latón	0,41
	17 04 02	Aluminio	0,41
	17 04 03	Plomo	13,32
	17 04 04	Zinc	0,41
	17 04 05	Hierro	505,57
	17 04 06	Estaño	10,52
	17 04 11	Cables	0,41
	Arena, grava y otros agregados		1.500,00
	17 05 04	Piedras y tierra	1.593,75
	15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00
	15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00
	Total RCD mezclado		44.565,36

Las tablas 5.3, 5.4 y 5.5 han reflejado las entradas de residuos que verdaderamente entran en el proceso de reciclado, después de haber pasado por el mánager de residuos.

A continuación, en la tabla 5.6, se muestran las cantidades resultantes del tratamiento manual del hormigón, que, del total, sólo continuarán en la planta un total de 1.440 toneladas.

Como ha sido comentado, en este tipo de planta el hormigón tanto de segregados, pétreos como RCD's, recibe un tratamiento manual con el objetivo de formar bloques de hormigón armado y separar también una parte de acero. De esta forma, como efectivamente se muestra en la tabla 5.6, la mayor parte no continúa el proceso.

Tabla 5.6: Cantidades resultantes del tratamiento manual del hormigón armado. Fuente: Elaboración propia.

Grupo	CER	Descripción	Ton	Resultante	Ton
Segregado	17 01 01 (Hormigón armado)	Total	782,61	Bloques de HA	547,83
		Hormigón	720,00	Hormigón	216,00
		Acero	62,61	Acero	18,78
Pétreo mezclado	17 01 01 (Hormigón armado)	Total	2.771,74	Bloques de HA	1.940,22
		Hormigón	2.550,00	Hormigón	765,00
		Acero	221,74	Acero	66,52
RCD mezclado	17 01 01 (Hormigón armado)	Total	1.663,04	Bloques de HA	1.164,13
		Hormigón	1.530,00	Hormigón	459,00
		Acero	133,04	Acero	39,91

3.652,17 toneladas de bloques de HA y 125,22 toneladas de acero salen del proceso para su venta.

1.440 toneladas de hormigón se reintroducen al proceso para su triturado.

### BALANCE DE MATERIA:

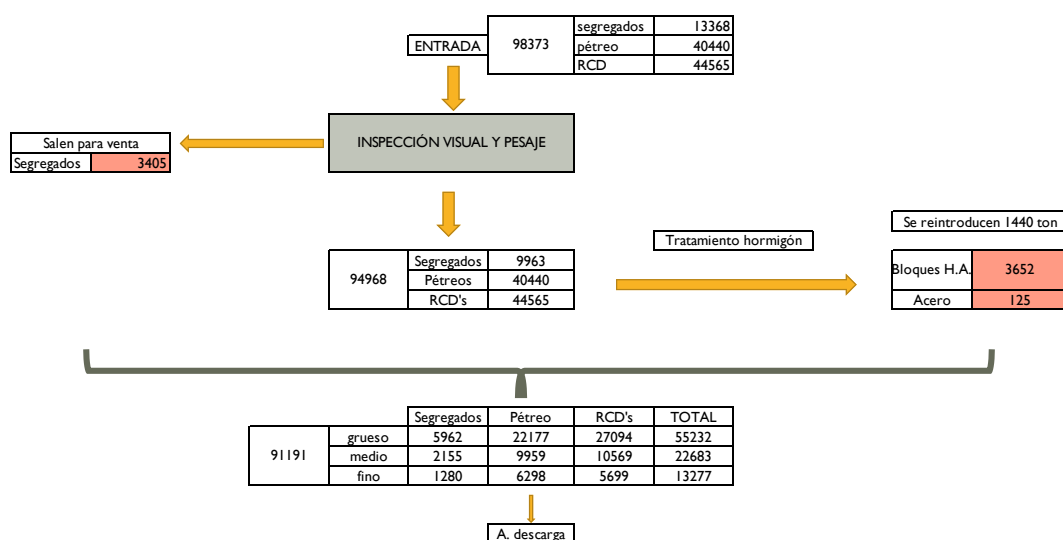


Figura 5.1: Balance de materia en la inspección visual y pesaje de planta básica. Fuente: Elaboración propia.

**NOTA:** En las figuras de los balances de materia se mostrará subrayado las cantidades que salen fuera de planta.

- 98.373 toneladas de residuos se introducen al proceso
- 3.652 toneladas de bloques de hormigón armado y 125 toneladas de acero abandonan el proceso tras el tratamiento manual del hormigón armado.
- Se extraen 3.405 toneladas de residuos segregados extraídos para la venta o almacenado:

- Piedras y tierra: 368,43 t
  - Madera: 295 t
  - Yeso: 15 t
  - Material bituminoso: 368,43 t
  - Material aislado: 516 t
  - Plástico: 110,53 t
- Al estar en una planta básica, que como hemos explicado, no posee una maquinaria compleja, desde el principio los residuos se introducen juntos, sin conseguir mantener la separación por lotes. Así que se hará únicamente distinción en el tamaño de partícula. Continúan en el proceso:
- 55.232 t de residuos de tamaño grueso
  - 22.683 t de residuos de tamaño medio
  - 13.277 t de residuos de tamaño fino

Un total de 91.191 toneladas van al área de descarga

### **5.1.2. Área de descarga**

En esta parte del proceso se produce la extracción de los residuos de grandes dimensiones mediante la grúa de gancho, además del tratamiento manual del hormigón armado. En este momento se produce la división de los residuos. Deberemos tener en cuenta tanto la distribución de tamaño de partícula inicial, dependiente del residuo (Elena Dosal, 2015) como los porcentajes que le corresponden a cada clasificado de dicha distribución.

- La distribución de tamaño de partícula inicial de los residuos de carácter pétreo viene dada por los escombros, para los residuos cuyo tamaño de partícula es mayor a los 40mm, promedio, para un tamaño de partícula entre los 40mm y los 4mm, y las partículas menores de los 4mm.
- Los materiales bituminosos y los basados en yeso de construcción, poseen una distribución de tamaño de partícula inicial particular de mayor de 20cm para los escombros, un promedio de entre 20cm y 4mm y las menores de 4mm.

- Para el resto de los materiales, la distribución viene dada por las piezas largas, con un tamaño de partícula mayor a los 20cm, un promedio de entre los 20cm y 4mm, y las partículas menores de 4mm.

A continuación, se muestran las distribuciones de tamaño de las partículas y los porcentajes específicos de cada material, así como los porcentajes provenientes de la extracción de residuos de grandes dimensiones gracias a la grúa de gancho, que lógicamente extrae del mayor tamaño de partícula y una cantidad distinta para los distintos materiales.

Como se observa y se ha mencionado, generalmente los porcentajes correspondientes a la distribución inicial varían, y por lo general, aquellos que tienden a llegar en forma de escombros o material largo y se identifican de forma sencilla, poseen porcentajes de extracción más elevados.

Una parte de estos grandes residuos son destinados a su venta, y otro porcentaje que continúa en el proceso, pasa por la trituradora para reducir su tamaño.

Los materiales como el yeso de construcción o la madera son apartados del proceso para su posterior venta debido a las impurezas que poseen, que afectan a la calidad del producto reciclado.

Siempre se hace interesante la separación de materiales metálicos del proceso, esto es por su gran valor económico posterior por su gran capacidad de reutilización.

En resumidas cuentas, en esta parte del proceso, una vez extraídos segregados para la venta en la Inspección visual y una vez tratado el hormigón, se procede a separar las piezas más largas del proceso. De este flujo de salida diferenciamos dos partes:

- Residuos no pétreos que abandonan el proceso
- Residuos pétreos que continúan en la trituradora para reducir su tamaño

Tabla 5.7: Área de descarga en la planta básica. Fuente: Elaboración propia

			ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Venta/almacenado
CER	Descripción	Ton	Dist partícula	% Inicial	Ton	% Extacción	Ton	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	7.200,00	Escombro> 40 mm	85,00	6.120,00	10	612,00	5.508,00	612,00	0,00
			40 mm >Promedio > 4 mm	10,00	720,00	0	0,00	720,00	0,00	0,00
			< 4 mm	5,00	360,00	0	0,00	360,00	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón (HA)	1.440,00	Escombro> 40 mm	85,00	1.224,00	10	122,40	1.101,60	122,40	0,00
			40 mm >Promedio > 4 mm	10,00	144,00	0	0,00	144,00	0,00	0,00
			< 4 mm	5,00	72,00	0	0,00	72,00	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	38.000,00	Escombro> 40 mm	60,00	22.800,00	2	456,00	22.344,00	456,00	0,00
			40 mm >Promedio > 4 mm	25,00	9.500,00	0	0,00	9.500,00	0,00	0,00
			< 4 mm	15,00	5.700,00	0	0,00	5.700,00	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	16.000,00	Escombro> 40 mm	60,00	9.600,00	2	192,00	9.408,00	192,00	0,00
			40 mm >Promedio > 4 mm	25,00	4.000,00	0	0,00	4.000,00	0,00	0,00
			< 4 mm	15,00	2.400,00	0	0,00	2.400,00	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados		4.000,00	Escombro> 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
			40 mm >Promedio > 4 mm	40	1.600,00	0	0,00	1.600,00	0,00	0,00
			< 4 mm	60	2.400,00	0	0,00	2.400,00	0,00	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	4.250,00	Escombro> 40 mm	40,00	1.700,00	0	0,00	1.700,00	0,00	0,00
			40 mm >Promedio > 4 mm	50,00	2.125,00	0	0,00	2.125,00	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	425,00	0	0,00	425,00	0,00	0,00
17 03 02	Mezcla bituminosa	4.250,00	Escombro> 20 cm	70,00	2.975,00	60	1.785,00	1.190,00	0,00	1.785,00
			20cm > Promedio> 4 mm	20,00	850,00	0	0,00	850,00	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	425,00	0	0,00	425,00	0,00	0,00
17 08 02	Yeso de construcción	170,00	Escombro > 20 cm	70,00	119,00	60	71,40	47,60	0,00	71,40
			20cm > Promedio> 4 mm	10,00	17,00	0	0,00	17,00	0,00	0,00
			< 4 mm	20,00	34,00	0	0,00	34,00	0,00	0,00
17 02 01	Madera	3.400,00	Piezas mas largas	80,00	2.720,00	60	1.632,00	1.088,00	0,00	1.632,00
			20cm > Promedio > 4 mm	15,00	510,00	0	0,00	510,00	0,00	0,00
			< 4 mm	5,00	170,00	0	0,00	170,00	0,00	0,00
17 02 02	Vidrio	425,00	Piezas largas	50,00	212,50	60	127,50	85,00	0,00	127,50
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	127,50	0	0,00	127,50	0,00	0,00
			< 4 mm	20,00	85,00	0	0,00	85,00	0,00	0,00
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	675,75	Piezas largas	70,00	473,03	60	283,82	189,21	0,00	283,82
			20cm > Promedio > 4 mm	20,00	135,15	0	0,00	135,15	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	67,58	0	0,00	67,58	0,00	0,00
	PVC	599,25	Piezas largas	70,00	419,48	60	251,69	167,79	0,00	251,69
			20cm > Promedio > 4 mm	20,00	119,85	0	0,00	119,85	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	59,93	0	0,00	59,93	0,00	0,00
17 06 04	Material aislante	5.950,00	Piezas largas	60,00	3.570,00	60	2.142,00	1.428,00	0,00	2.142,00
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1.785,00	0	0,00	1.785,00	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	595,00	0	0,00	595,00	0,00	0,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00	Piezas largas	60,00	180,00	60	108,00	72,00	0,00	108,00
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	90,00	0	0,00	90,00	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	30,00	0	0,00	30,00	0,00	0,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	2.345,35	Piezas largas	70,00	1.641,75	60	985,05	656,70	0,00	985,05
			20cm > Promedio > 4 mm	20,00	469,07	0	0,00	469,07	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	234,54	0	0,00	234,54	0,00	0,00
	Carton	986,72	Piezas largas	70,00	690,70	60	414,42	276,28	0,00	414,42
			20cm > Promedio > 4 mm	20,00	197,34	0	0,00	197,34	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	98,67	0	0,00	98,67	0,00	0,00
Films de polietileno	667,93	Piezas largas	70,00	467,55	60	280,53	187,02	0,00	280,53	
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	133,59	0	0,00	133,59	0,00	0,00	
		< 4 mm	10,00	66,79	0	0,00	66,79	0,00	0,00	
17 04 01	Cobre, bronce, latón	0,41	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	0,41	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	13,32	Piezas largas	60,00	7,99	60	4,80	3,20	0,00	4,80
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	4,00	0	0,00	4,00	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	1,33	0	0,00	1,33	0,00	0,00
17 04 04	Zinc	0,41	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	505,57	Piezas largas	60,00	303,34	60	182,00	121,34	0,00	182,00
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	151,67	0	0,00	151,67	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	50,56	0	0,00	50,56	0,00	0,00
17 04 06	Estaño	10,52	Piezas largas	60,00	6,31	60	3,79	2,52	0,00	3,79
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	3,16	0	0,00	3,16	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	1,05	0	0,00	1,05	0,00	0,00
17 04 11	Cables	0,41	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
			20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
			< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
TOTAL		91.191,07			91.191,07		9.654,98	81.536,08	1.382,40	8.272,58

**BALANCE DE MATERIA:**

- 1.382 toneladas de gruesos son extraídas por la grúa de gancho de la corriente principal, y desplazadas directamente a la trituradora de mandíbula.
- 8.273 toneladas de residuos de carácter no pétreo son extraídas por la grúa de gancho de la corriente principal para ser vendidos o desechados.

Lo que resulta un total de 81.536 toneladas de residuos se reintroducen al proceso de planta por el almacenado intermedio de la tolva.

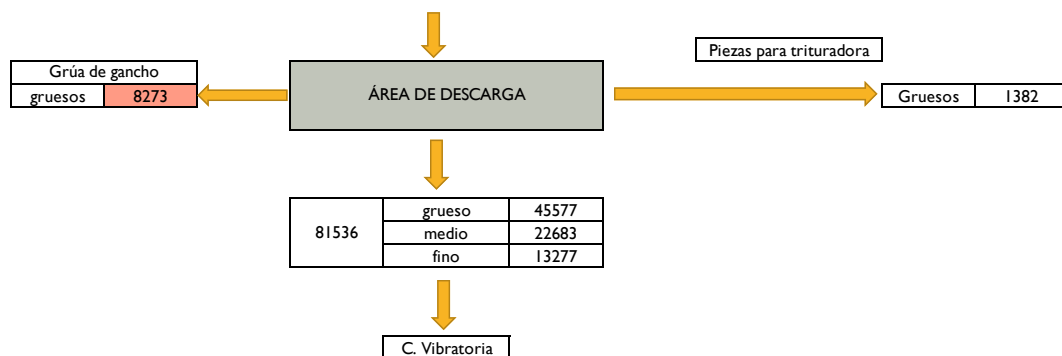


Figura 5.2: Balance de materia en el área de descarga de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3. Separación por tamaño de partícula en la criba vibratoria

En este momento del proceso se realiza una separación por tamaño de los residuos. En esta parte, se pretende separar el resto de los residuos de grandes fracciones de escombros que antes no pudieron serlo y llevarlas a la trituradora para la disminución de tamaño.

Para esto se utiliza una cinta transportadora inclinada y agujereada en forma de malla. Los residuos avanzan por la malla y una vibración permanente origina que las partículas promedio o menores caigan a través de las rendijas de la cinta, separando la mezcla de residuos en dos lotes. Por un lado, la fracción de escombros y piezas largas, que van a la trituradora de mandíbula, y por otro, la fracción de partículas cuyo tamaño de partícula es igual o menor al promedio, que siguen el proceso para ser canalizados a través de la tolva. Se estima que en este proceso se separan el 100% de los escombros y piezas largas.

En la tabla se ve el proceso en cuestión, con las cantidades de entrada que fueron destinadas desde el área de descarga al proceso de almacenado intermedio, y cuya salida, servirá para la selección de tamaños para la continuación del proceso, divididas así en dos flujos de salida, con cantidades resultantes destinadas a la trituradora y a la tolva.

Es destacable que la criba separa el 100% de la fracción gruesa. Se comprueba que todos los materiales sufren el mismo proceso de separación, la parte de escombros es destinada a la trituradora y el restante pasan a la tolva de almacenamiento intermedio.

#### BALANCE DE MATERIA:

- Residuos a la trituradora=45.577 t
- Residuos a la tolva=35.959 t

Es decir, de la totalidad de las 81.536 toneladas de la mezcla de residuos entrantes a la criba vibratoria un 55,9% es destinado a la trituradora mientras que el 44,1% restante es canalizado a través de tolva de almacenamiento intermedio.

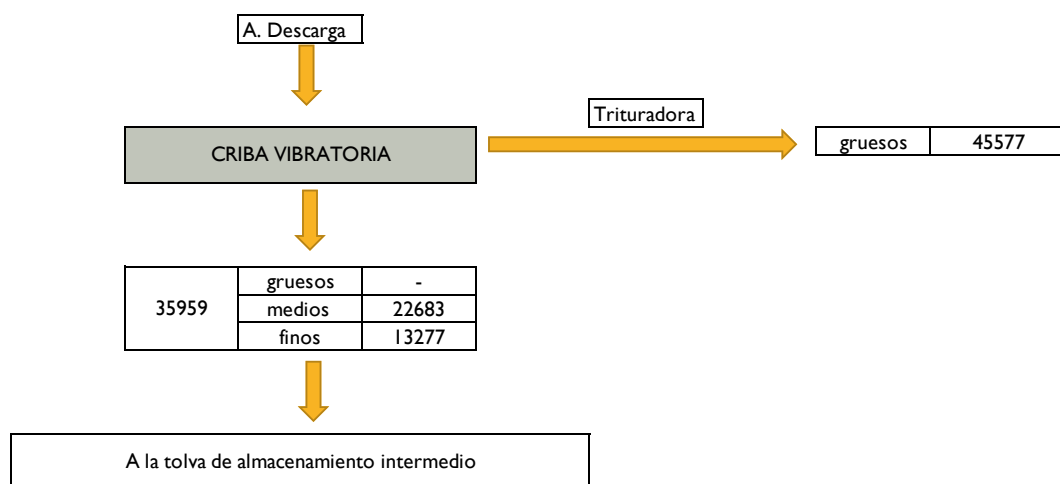


Figura 5.3: Balance de materia en la criba vibratoria de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.



Tabla 5.8: Proceso de separación de tamaños en la criba vibratoria de la planta básica. Fuente:  
Elaboración propia.

		Entrada a criba		Criba	Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros> 40 mm	5508,00	100	5508,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	720,00	0	0,00	720,00
		< 4 mm	360,00	0	0,00	360,00
17 01 01	Hormigón (HA)	Escombros> 40 mm	1101,60	100	1101,60	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	144,00	0	0,00	144,00
		< 4 mm	72,00	0	0,00	72,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros> 40 mm	22344,00	100	22344,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	9500,00	0	0,00	9500,00
		< 4 mm	5700,00	0	0,00	5700,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros> 40 mm	9408,00	100	9408,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	4000,00	0	0,00	4000,00
		< 4 mm	2400,00	0	0,00	2400,00
	Arena, grava y otros agregados	Escombros> 40 mm	0,00	100	0,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	1600,00	0	0,00	1600,00
		< 4 mm	2400,00	0	0,00	2400,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros> 40 mm	1700,00	100	1700,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	2125,00	0	0,00	2125,00
		< 4 mm	425,00	0	0,00	425,00
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros> 20 cm	1190,00	100	1190,00	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	850,00	0	0,00	850,00
		< 4 mm	425,00	0	0,00	425,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	47,60	100	47,60	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	17,00	0	0,00	17,00
		< 4 mm	34,00	0	0,00	34,00
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	1088,00	100	1088,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	510,00	0	0,00	510,00
		< 4 mm	170,00	0	0,00	170,00
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	85,00	100	85,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	127,50	0	0,00	127,50
		< 4 mm	85,00	0	0,00	85,00
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	189,21	100	189,21	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	135,15	0	0,00	135,15
		< 4 mm	67,58	0	0,00	67,58
	PVC	Piezas largas	167,79	100	167,79	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	119,85	0	0,00	119,85
		< 4 mm	59,93	0	0,00	59,93
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	1428,00	100	1.428,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	1785,00	0	0,00	1.785,00
		< 4 mm	595,00	0	0,00	595,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	72,00	100	72,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	90,00	0	0,00	90,00
		< 4 mm	30,00	0	0,00	30,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	656,70	100	656,70	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	469,07	0	0,00	469,07
		< 4 mm	234,54	0	0,00	234,54
	Carton	Piezas largas	276,28	100	276,28	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	197,34	0	0,00	197,34
		< 4 mm	98,67	0	0,00	98,67
	Films de polietileno	Piezas largas	187,02	100	187,02	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	133,59	0	0,00	133,59
		< 4 mm	66,79	0	0,00	66,79
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
17 04 03	Plomo	Piezas largas	3,20	100	3,20	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	4,00	0	0,00	4,00
		< 4 mm	1,33	0	0,00	1,33
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	121,34	100	121,34	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	151,67	0	0,00	151,67
		< 4 mm	50,56	0	0,00	50,56
17 04 06	Estaño	Piezas largas	2,52	100	2,52	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	3,16	0	0,00	3,16
		< 4 mm	1,05	0	0,00	1,05
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
TOTAL			81536,08		45576,66	35959,43

#### **5.1.4. Reducción del tamaño de partícula con trituradora de mandíbula**

Como se ha comentado anteriormente, esta parte del proceso pretende una reducción del tamaño de la partícula. Se utilizan trituradoras de mandíbula en la planta básica porque son las más sencillas en cuanto a utilización, baja necesidad de mantenimiento y grandes aperturas de entrada. Si no fueran escombros de unas dimensiones considerables, no podrían ser tratados con esta maquinaria. Estos escombros, son triturados por el movimiento constante entre la mandíbula fija y la móvil. De nuevo los porcentajes de salida dependen del tipo de material y se considera que es triturado el 100%, así que después de esto, no hay fracción gruesa.

Es destacable que, en los residuos pétreos y cerámicos con propiedades de dureza y fragilidad similares, apenas varía el porcentaje de salida. Estos se caracterizan por unos porcentajes elevados, que rondan el 65% de salida entre la fracción de las partículas menores de 4mm, lo que significa que son triturados con facilidad por la baja resistencia que presenta ante rotura.

También queda reflejado que los residuos de “Arena, grava y otros agregados” no posee porcentaje para la trituradora y que “Piedras y tierra”, con alto porcentaje de salida, refleja la tenacidad del material que hace difícil su triturado. Así como los residuos plásticos y metálicos, que se complica su triturado por su ductilidad, como con la madera.

Tabla 5.9: Proceso de redacción del tamaño de partícula en la trituradora de mandíbula en la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a trituradora		Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Salida	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombro> 40 mm	6.120,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	38,82	2.376,00
		< 4 mm	0,00	61,18	3.744,00
17 01 01	Hormigón (HA)	Escombro> 40 mm	1.224,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	38,82	475,16
		< 4 mm	0,00	61,18	748,84
17 01 02	Ladrillos	Escombro> 40 mm	22.800,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	30,00	6.840,00
		< 4 mm	0,00	70,00	15.960,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombro> 40 mm	9.600,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	30,00	2.880,00
		< 4 mm	0,00	70,00	6.720,00
Arena, grava y otros agregados		Escombro> 40 mm	0,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	0	0,00
		< 4 mm	0,00	0	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombro> 40 mm	1.700,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	62,50	1.062,50
		< 4 mm	0,00	37,50	637,50
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombro> 20 cm	1.190,00	0	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	0,00	71,11	846,22
		< 4 mm	0,00	28,89	343,78
17 08 02	Yeso de construcción	Escombro > 20 cm	47,60	0	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	0,00	54,29	25,84
		< 4 mm	0,00	45,71	21,76
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	1.088,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	75,94	826,22
		< 4 mm	0,00	24,06	261,78
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	85,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	65,71	55,86
		< 4 mm	0,00	34,29	29,14
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	189,21	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	131,45
		< 4 mm	0,00	30,53	57,76
	PVC	Piezas largas	167,79	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	116,57
		< 4 mm	0,00	30,53	51,22
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	1.428,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	76,48	1.092,12
		< 4 mm	0,00	23,52	335,88
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	72,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	53,06
		< 4 mm	0,00	26,30	18,94
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	656,70	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	456,23
		< 4 mm	0,00	30,53	200,47
	Carton	Piezas largas	276,28	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	191,94
		< 4 mm	0,00	30,53	84,34
	Films de polietileno	Piezas largas	187,02	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	129,93
		< 4 mm	0,00	30,53	57,09
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
17 04 03	Plomo	Piezas largas	3,20	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	2,36
		< 4 mm	0,00	26,30	0,84
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	121,34	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	89,43
		< 4 mm	0,00	26,30	31,91
17 04 06	Estaño	Piezas largas	2,52	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	1,86
		< 4 mm	0,00	26,30	0,66
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
TOTAL			46959,06		46959,06

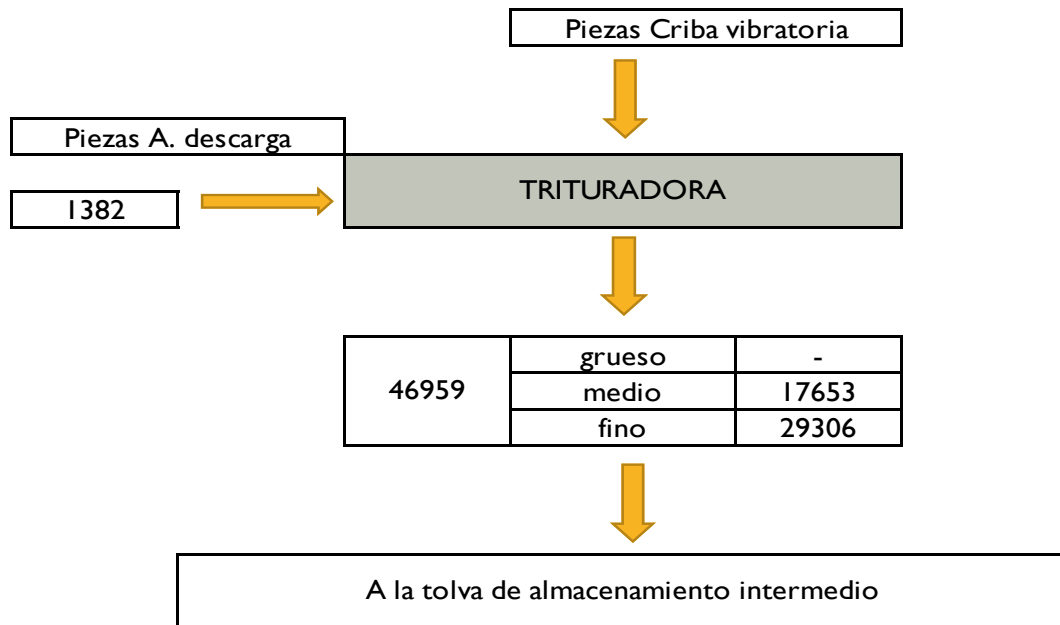
BALANCE DE MATERIA SOBRE LA TRITURADORA

Figura 5.4: Balance de materia en la trituradora de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, antes de continuar el proceso, estas toneladas salientes ya trituradas, se juntarán con la mezcla que se mantenía reservada antes en una tolva de almacenamiento intermedio, que se muestra en la figura 5.5.

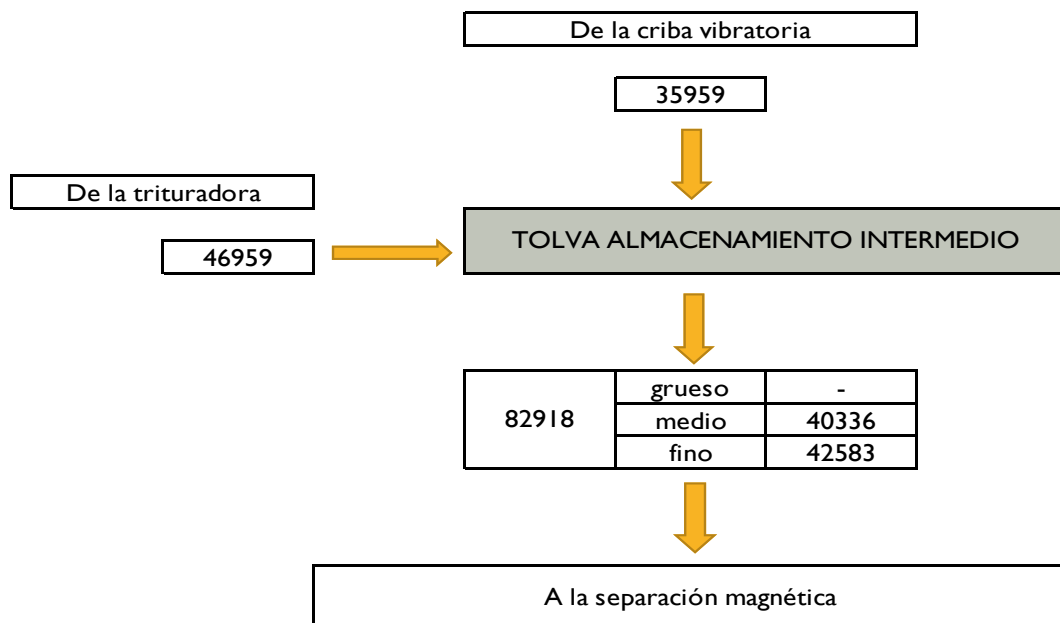


Figura 5.5: Balance de materia en la tolva de almacenamiento intermedio de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.5. Separación magnética

Aquí se produce la separación magnética hecha con un imán en banda, sobre una cinta transportadora, que se explica a continuación. Las 82.918 t que continúan su camino hacia la criba rotatoria pasan por la cinta transportado, y a medida que esto ocurre, se coloca un imán en banda transversal o longitudinalmente a una distancia fija, que hace que la fuerza de atracción magnética extraiga los materiales férreos, para que cuando abandonen el campo magnético, se depositen en contenedores específicos. Sobre la cantidad de residuos de “Hierro y acero”, se considera que se extrae alrededor de un 70%, puesto que el resto tendrán una masa considerable y muchos se encontrarán atascados entre otros residuos. Así se consiguen extraer del proceso 226 toneladas de acero para la venta.

#### BALANCE DE MATERIA:

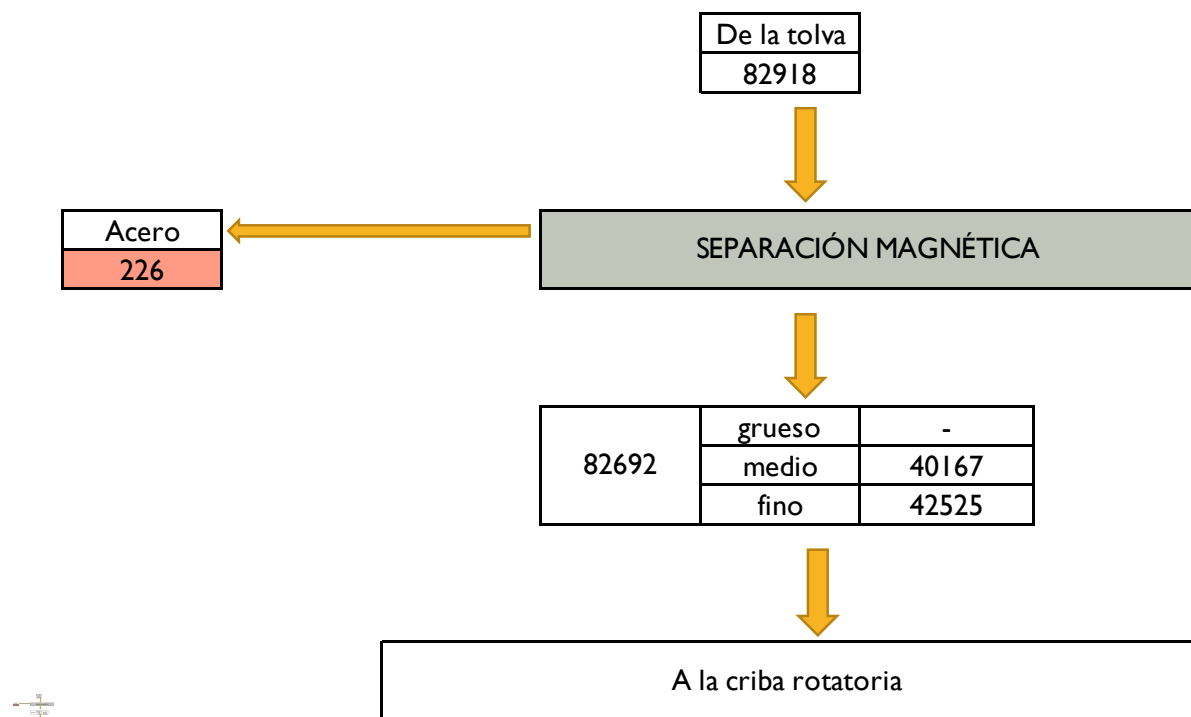


Figura 5.6: Balance de materia en la separación magnética de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.6. Separación por tamaño de partícula en la criba rotatoria

Aquí se produce una última separación por tamaño, en la que se separan las gruesas de las más finas, estableciéndose este nuevo criterio:

- Grueso: todas aquellas partículas de residuos con un tamaño mayor a los 4mm.
- Fino: partículas con tamaño comprendido entre los 4mm y los 0,063mm.
- Todos en una: todas aquellas partículas con un tamaño menor a los 2mm.

La fracción gruesa es la que más valor tiene en la planta, debido a que es la más eficaz en cuanto a separación y depuración, y es por eso por lo que es la que seguirá en el proceso para continuar su tratamiento y mejorar su calidad. La fina y todas en una saldrán del proceso y se podrán utilizar para productos de menor calidad.

Este proceso consiste en dos etapas. En la primera se emplea la fuerza centrífuga de la criba para tamizar las partículas menores de 2mm por las rendijas de la malla del tambor, por donde va avanzando la mezcla, formándose así la fracción de todas en una. La corriente que sigue en el tambor pasa a la segunda etapa, dónde hay perforaciones de mayor tamaño, esta vez de 4mm y formando la fracción fina, pudiendo existir aquí restos de menores de 2mm ya que no es un proceso perfecto. Si bien es cierto que la separación de la segunda etapa sí que es perfecta y la mezcla que abandona el proceso sólo son partículas superiores a 4mm.

Se confirma que los materiales de “Hormigón”, “Ladrillos” y “Azulejos y cerámicos” no varían sus porcentajes porque presentan un comportamiento muy similar ante la rotura ejercida en la trituradora. También que “Arena, grava y otros agregados” posee porcentajes de salida muy elevados, ya que por definición se compone de partículas muy pequeñas y no recibe tratamiento en la trituradora. “Piedras y tierra”, compuesta mayoritariamente por partículas grandes, presenta gran tenacidad ante la rotura y se compone principalmente de partículas grandes. Se ve también, por último otra vez, la gran ductilidad de los materiales plásticos, así como de los metales. Se demuestra la correlación entre los porcentajes de salida de la trituradora y la criba rotatoria.

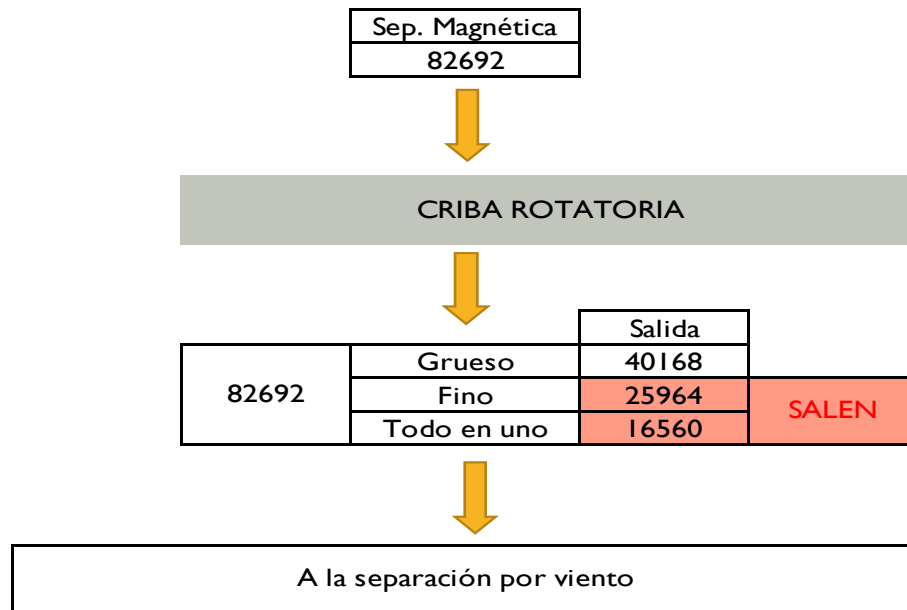
BALANCE DE MATERIA:

Figura 5.7: Balance de materia en la criba rotatoria de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

Es entonces en este momento cuando la fracción fina y la de todo en uno salen del proceso. Sólo continúan el tratamiento los gruesos, puesto que son la parte del árido reciclado más valiosa del proceso, y además gracias al posterior tamizado por flujo de aire y el clasificado manual, se conseguirá una fracción gruesa de todavía mejores condiciones.

Entonces, de las 82.692 toneladas entrantes a la criba, continúan:

- 40.168 toneladas de fracción gruesa

Abandonan el proceso:

- 25.964 toneladas finas
- 16.560 toneladas de todo en uno

Un total de 42.524 toneladas de residuos de tamaño menor de carácter cerámico mixto abandonan, lo que supone un 51,42% del árido total reciclado producido.

Tabla 5.10: Proceso de separación por tamaños en la criba rotatoria de la planta básica. Fuente:  
Elaboración propia.

		Entrada a criba		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	3.096,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	3.096,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	2.462,40
		< 4 mm	4.104,00	2mm > Todas en una	22,8	1.641,60
17 01 01	Hormigón (HA)	Escombros> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	619,20
		40 mm >Promedio > 4 mm	619,16	4mm > Fino > 0,063	34,2	492,48
		< 4 mm	820,84	2mm > Todas en una	22,8	328,32
17 01 02	Ladrillos	Escombros> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	16.340,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	16.340,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	12.996,00
		< 4 mm	21.660,00	2mm > Todas en una	22,8	8.664,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	6.880,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	6.880,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	5.472,00
		< 4 mm	9.120,00	2mm > Todas en una	22,8	3.648,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	40	1.600,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	1.600,00	4mm > Fino > 0,063	20	800,00
		< 4 mm	2.400,00	2mm > Todas en una	40	1.600,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	75	3.187,50
		40 mm >Promedio > 4 mm	3.187,50	4mm > Fino > 0,063	20	850,00
		< 4 mm	1.062,50	2mm > Todas en una	5	212,50
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros> 20 cm	0,00	Grueso > 4mm	68,8	1.695,92
		20cm > Promedio> 4 mm	1.696,22	4mm > Fino > 0,063	27,2	670,48
		< 4 mm	768,78	2mm > Todas en una	4,0	98,60
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	0,00	Grueso > 4mm	43,4	42,79
		20cm > Promedio> 4 mm	42,84	4mm > Fino > 0,063	47,7	47,03
		< 4 mm	55,76	2mm > Todas en una	8,9	8,78
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	0,00	Grueso > 4mm	75,6	1.336,61
		20cm > Promedio > 4 mm	1.336,22	4mm > Fino > 0,063	21,8	385,42
		< 4 mm	431,78	2mm > Todas en una	2,6	45,97
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	61,6	183,26
		20cm > Promedio > 4 mm	183,36	4mm > Fino > 0,063	32,0	95,20
		< 4 mm	114,14	2mm > Todas en una	6,4	19,04
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	266,52
		20cm > Promedio > 4 mm	266,60	4mm > Fino > 0,063	27,4	107,39
		< 4 mm	125,33	2mm > Todas en una	4,6	18,03
	PVC	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	236,34
		20cm > Promedio > 4 mm	236,42	4mm > Fino > 0,063	27,4	95,23
		< 4 mm	111,15	2mm > Todas en una	4,6	15,99
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	75,6	2.878,85
		20cm > Promedio > 4 mm	2.877,12	4mm > Fino > 0,063	20,7	788,26
		< 4 mm	930,88	2mm > Todas en una	3,7	140,90
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	143,04
		20cm > Promedio > 4 mm	143,06	4mm > Fino > 0,063	21,7	41,66
		< 4 mm	48,94	2mm > Todas en una	3,8	7,30
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	925,01
		20cm > Promedio > 4 mm	925,30	4mm > Fino > 0,063	27,4	372,72
		< 4 mm	435,00	2mm > Todas en una	4,6	62,57
	Cartón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	389,16
		20cm > Promedio > 4 mm	389,29	4mm > Fino > 0,063	27,4	156,81
		< 4 mm	183,01	2mm > Todas en una	4,6	26,33
	Films de polietileno	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	263,43
		20cm > Promedio > 4 mm	263,52	4mm > Fino > 0,063	27,4	106,15
		< 4 mm	123,88	2mm > Todas en una	4,6	17,82
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
17 04 03	Plomo	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	6,35
		20cm > Promedio > 4 mm	6,35	4mm > Fino > 0,063	21,7	1,85
		< 4 mm	2,17	2mm > Todas en una	3,8	0,32
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	72,32
		20cm > Promedio > 4 mm	72,33	4mm > Fino > 0,063	21,7	21,06
		< 4 mm	24,74	2mm > Todas en una	3,8	3,69
17 04 06	Estaño	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	5,02
		20cm > Promedio > 4 mm	5,02	4mm > Fino > 0,063	21,7	1,46
		< 4 mm	1,72	2mm > Todas en una	3,8	0,26
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
TOTAL			82.691,99			82.691,99



### 5.1.7. Separación por densidad en el tamiz por flujo de aire

La cantidad de gruesos de RCD's provenientes de la criba rotatoria se introduce aquí con la finalidad de separar los materiales de baja densidad de la corriente principal. Sólo se puede utilizar con partículas superiores a los 4mm y requiere condiciones de absoluto secado, por lo que sólo se usa con la fracción gruesa.

El principio de este equipo reside en el empleo de ventiladores que soplan aire a través del flujo de residuos para extraer materiales de baja densidad como el papel, cartón, plásticos y madera. Se considera un 80% de separación, ya que las partículas de los materiales mencionados son susceptibles a quedarse atrapados entre otros tipos de residuos.

Tabla 5.11: Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Tamizado por flujo de aire			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	1.336,61	80	1.069,29
17 02 03	No film,no pvc	Grueso > 4mm	266,52	80	213,21
(Plástico)	PVC	Grueso > 4mm	236,34	80	189,08
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	2.878,85	80	2.303,08
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	143,04	80	114,43
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	925,01	80	740,01
(Embalaje mixto)	Cartón	Grueso > 4mm	389,16	80	311,33
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	263,43	80	210,75
<b>TOTAL</b>			<b>6.438,96</b>		<b>5.151,16</b>

Lo que quiere decir que, de las 40.168 toneladas de mezcla de residuos gruesos provenientes de la criba rotatoria, aproximadamente 5.151 son extraídas en el proceso de separación.

La extracción de estos residuos de baja densidad es interesante, ya que supondrían una disminución de la calidad del árido final de continuar en el proceso.

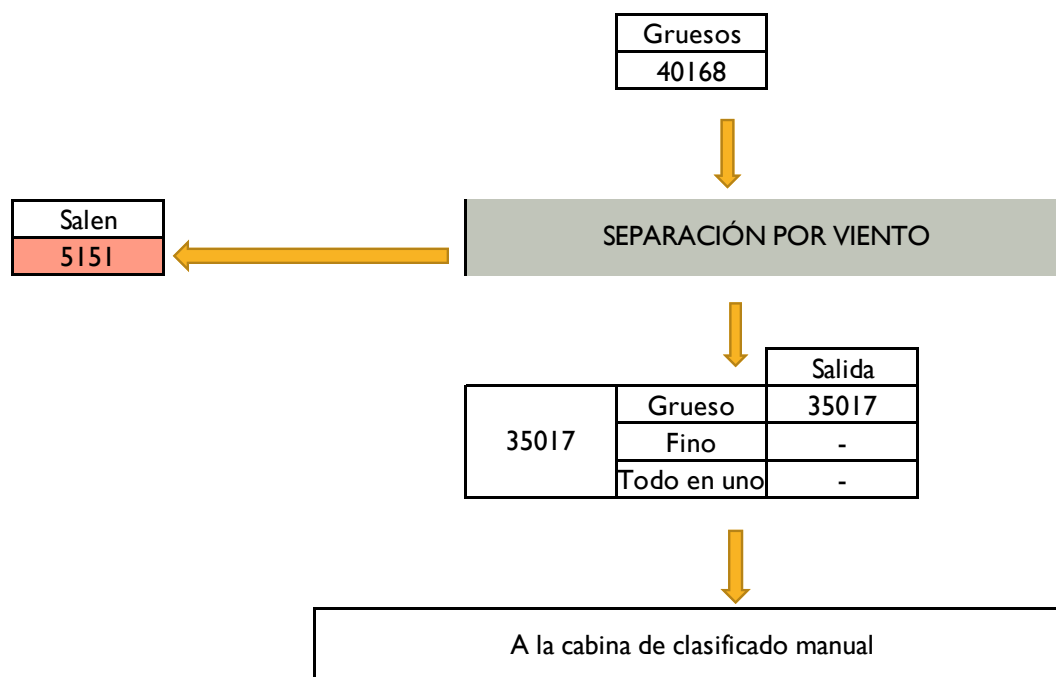
**BALANCE DE MATERIA**

Figura 5.8: Balance de materia en la separación por viento de la planta básica. Fuente: Elaboración propia

**5.1.8. Separación final en la cabina de clasificado manual**

En esta etapa final, se emplea la visión de los trabajadores para separar los residuos que no han podido ser extraídos previamente y que suponen un perjuicio en la calidad del producto final. Aproximadamente un 30% de metales, plásticos, papel y cartón se separan aquí.

Además, también gracias a este proceso de separado previo a la salida final de gruesos se consigue la extracción de materiales interesantes para su posterior venta, como son las tablas de madera, el PVC o los metales. Sin embargo, otros materiales como son la madera o el material aislante, sí que no son interesantes en ningún caso, y es por ello por lo que se hace aún más conveniente este separado.

Tabla 5.12: Extracción manual en la cabina de clasificado. Fuente: Elaboración propia.

		Extracción manual en la cabina de clasificado			
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	267,32	30	80,20
17 02 03	No film,no pvc	Grueso > 4mm	53,30	30	15,99
(Plástico)	PVC	Grueso > 4mm	47,27	30	14,18
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	575,77	30	172,73
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	28,61	30	8,58
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	185,00	30	55,50
(Embalaje mixto)	Cartón	Grueso > 4mm	77,83	30	23,35
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	52,69	30	15,81
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	6,35	30	1,91
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	72,32	30	21,69
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	5,02	30	1,50
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
<b>TOTAL</b>			<b>1.372,27</b>		<b>411,68</b>

Como se aprecia, aproximadamente 412 t se extraen de la corriente principal, dando lugar a una mezcla más limpia, con resultados de mayor calidad.

#### BALANCE DE MATERIA:

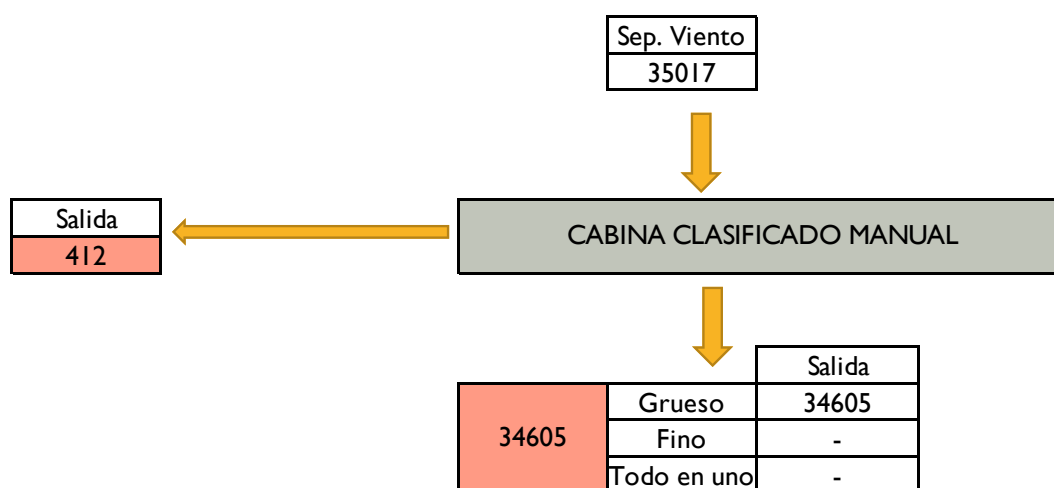


Figura 5.9: Balance de materia en la cabina de clasificado manual de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.9. Resultados generales de la planta básica

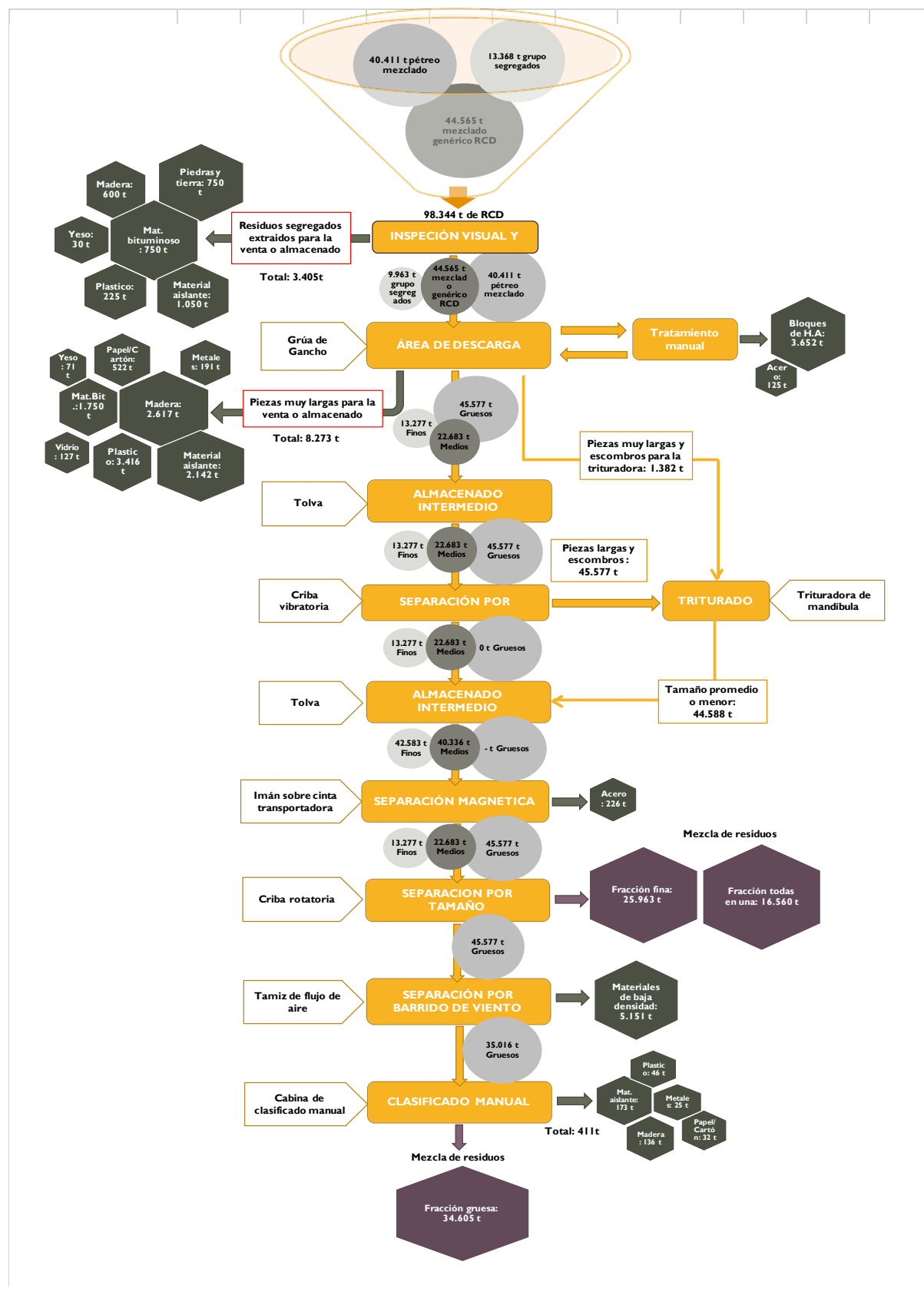


Figura 5.10: Disposición final de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.13: Tabla resumen de las salidas de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA			
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton
Segregado	13367,61	Bloques de H.A	3652,17	Bloques de H.A	3652,17
		Basado en yeso	101,40	Basado en yeso	101,40
		Madera	3352,74	Madera	2312,20
				Tablas de madera	1040,55
		Plástico	1087,01	Otro plástico	419,06
				Plástico pvc	371,62
				Films de polietileno	296,34
		Papel/cartón	554,35	Cartón	437,77
Pétreo mezclado	40440,49	Árido cerámico mixto	77129,14	Empaques de papel y cartón	116,58
				Grueso	34605,26
				Fino	25963,84
		Metales	568,24	Todas en una	16560,04
				Cobre,bronce, latón	0,21
				Aluminio	0,21
				Plomo	6,70
				Zinc	0,21
				Hierro y acero	555,41
				Estaño	5,29
		Cables	0,21		
Mezclado genérico de RCD's	44565,36	Piedras y tierra	750,00	Piedras y tierra	750,00
		Material bituminoso	2535,00	Material bituminoso	2535,00
		Vidrio	127,50	Vidrio	127,50
		Materiales de baja densidad	5151,16	Materiales de baja densidad	5151,16
		Otros residuos	3364,73	Material aislante	3364,73
TOTAL	98373,46		98373,46		98373,46

## 5.2. PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE INTERMEDIA

Una vez descrita con detenimiento la planta básica, se procederá ahora al detalle de la planta intermedia. En esta nueva planta, el proceso será exactamente el mismo a la básica, pero no la forma de tratar los residuos. Aquí no habrá únicamente la separación por tamaños, sino que en esta planta se tratan los residuos por lotes, distinguiendo entre segregados, pétreos y RCD's. Es por esto por lo que se empezará a describir a partir del punto en que la básica comienza la división por tamaños, ya que aquí continuarán por lotes. De esta forma, la inspección visual y pesaje es exactamente igual que en 4.1.1 y los residuos pasarían así al área de descarga.

### 5.2.1. Área de descarga

De la misma forma, en esta parte se procederá a la extracción de piezas más largas con la grúa de gancho, que por un lado las de carácter no pétreo serán retiradas del proceso para su posterior venta y el resto serán enviadas a la trituradora con el objetivo de reducir su tamaño.

A continuación, de nuevo, se muestran las distribuciones de tamaño de las partículas y los porcentajes específicos de cada material, así como los porcentajes provenientes de la extracción de residuos de grandes dimensiones gracias a la grúa de gancho, que lógicamente extrae del mayor tamaño de partícula y una cantidad distinta para los distintos materiales, esta vez para cada uno de los tres lotes.

Tabla 5.14: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos segregadas en la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora
CER	Descripción	Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85	918,00	10	91,80	826,20	91,80
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	108,00	0	0,00	108,00	0,00
		< 4 mm	5	54,00	0	0,00	54,00	0,00
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	85	183,60	10	18,36	165,24	18,36
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	21,60	0	0,00	21,60	0,00
		< 4 mm	5	10,80	0	0,00	10,80	0,00
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	85	650,25	10	65,03	585,23	65,03
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	76,50	0	0,00	76,50	0,00
		< 4 mm	5	38,25	0	0,00	38,25	0,00
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	85	390,15	10	39,02	351,14	39,02
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	45,90	0	0,00	45,90	0,00
		< 4 mm	5	22,95	0	0,00	22,95	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60	3.420,00	2	68,40	3.351,60	68,40
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	1.425,00	0	0,00	1.425,00	0,00
		< 4 mm	15	855,00	0	0,00	855,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60	1.440,00	2	28,80	1.411,20	28,80
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	600,00	0	0,00	600,00	0,00
		< 4 mm	15	360,00	0	0,00	360,00	0,00
TOTAL				10.620,00		311,40	10.308,60	311,40

Tabla 5.15: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

			ENTRADA		Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora
CER	Descripción	Ton	Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	3.825,00	Escombros > 40 mm	85	3.251,25	10	325,13	2.926,13
			40 mm > Promedio > 4 mm	10	382,50	0	0,00	382,50
			< 4 mm	5	191,25	0	0,00	191,25
17 01 02	Ladrillos	20.187,50	Escombros > 40 mm	60	12.112,50	2	242,25	11.870,25
			40 mm > Promedio > 4 mm	25	5.046,88	0	0,00	5.046,88
			< 4 mm	15	3.028,13	0	0,00	3.028,13
17 01 03	Azulejos y cerámicos	8.500,00	Escombros > 40 mm	60	5.100,00	2	102,00	4.998,00
			40 mm > Promedio > 4 mm	25	2.125,00	0	0,00	2.125,00
			< 4 mm	15	1.275,00	0	0,00	1.275,00
Arena, grava y otros agregados		2.500,00	Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00
			40 mm > Promedio > 4 mm	40	1.000,00	0	0,00	1.000,00
			< 4 mm	60	1.500,00	0	0,00	1.500,00
17 05 04	Piedras y tierra	2.656,25	Escombros > 40 mm	40	1.062,50	0	0,00	1.062,50
			40 mm > Promedio > 4 mm	50	1.328,13	0	0,00	1.328,13
			< 4 mm	10	265,63	0	0,00	265,63
TOTAL		37.668,75			37.668,75		669,38	36.999,38

En la tabla 5.16 se observa que en esta primera parte de RCD's únicamente se destinan a la venta la mezcla bituminosa, yeso y madera, siendo el resto de las piezas extraídas por la grúa de gancho destinadas a la trituradora.

Tabla 5.16: Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 1) de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Almacenado
		Dist partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85,00	1.950,75	10	195,08	1.755,68	195,08	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	10,00	229,50	0	0,00	229,50	0,00	0,00
		< 4 mm	5,00	114,75	0	0,00	114,75	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60,00	7.267,50	2	145,35	7.122,15	145,35	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25,00	3.028,13	0	0,00	3.028,13	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	1.816,88	0	0,00	1.816,88	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60,00	3.060,00	2	61,20	2.998,80	61,20	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25,00	1.275,00	0	0,00	1.275,00	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	765,00	0	0,00	765,00	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	40	600,00	0	0,00	600,00	0,00	0,00
		< 4 mm	60	900,00	0	0,00	900,00	0,00	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	40,00	637,50	0	0,00	637,50	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	50,00	796,88	0	0,00	796,88	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	159,38	0	0,00	159,38	0,00	0,00
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros > 20 cm	70,00	2.975,00	60	1.785,00	1.190,00	0,00	1.785,00
		20 cm > Promedio > 4 mm	20,00	850,00	0	0,00	850,00	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	425,00	0	0,00	425,00	0,00	0,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	70,00	1.190,00	60	71,40	47,60	0,00	71,40
		20 cm > Promedio > 4 mm	10,00	17,00	0	0,00	17,00	0,00	0,00
		< 4 mm	20,00	34,00	0	0,00	34,00	0,00	0,00
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	80,00	2.720,00	60	1.632,00	1.088,00	0,00	1.632,00
		20 cm > Promedio > 4 mm	15,00	510,00	0	0,00	510,00	0,00	0,00
		< 4 mm	5,00	170,00	0	0,00	170,00	0,00	0,00

En la tabla 5.17 se observa ya que, en contraposición de resto de corriente de residuos este lote, todos los RCD que extrae la grúa son destinados a la venta.

Tabla 5.17: Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 2) de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

17 02 02	Vidrio	Piezas largas	50,00	212,50	60	127,50	85,00	0,00	127,50
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	127,50	0	0,00	127,50	0,00	0,00
		< 4 mm	20,00	85,00	0	0,00	85,00	0,00	0,00
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Piezas largas	70,00	473,03	60	283,82	189,21	0,00	283,82
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	135,15	0	0,00	135,15	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	67,58	0	0,00	67,58	0,00	0,00
	PVC	Piezas largas	70,00	419,48	60	251,69	167,79	0,00	251,69
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	119,85	0	0,00	119,85	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	59,93	0	0,00	59,93	0,00	0,00
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	60,00	3.570,00	60	2.142,00	1.428,00	0,00	2.142,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1.785,00	0	0,00	1.785,00	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	595,00	0	0,00	595,00	0,00	0,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	60,00	180,00	60	108,00	72,00	0,00	108,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	90,00	0	0,00	90,00	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	30,00	0	0,00	30,00	0,00	0,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	70,00	1.641,75	60	985,05	656,70	0,00	985,05
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	469,07	0	0,00	469,07	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	234,54	0	0,00	234,54	0,00	0,00
	Carton	Piezas largas	70,00	690,70	60	414,42	276,28	0,00	414,42
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	197,34	0	0,00	197,34	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	98,67	0	0,00	98,67	0,00	0,00
	Films de polietileno	Piezas largas	70,00	467,55	60	280,53	187,02	0,00	280,53
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	133,59	0	0,00	133,59	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	66,79	0	0,00	66,79	0,00	0,00

Por último y continuando la tendencia anterior, los metales, que son la parte de corriente de RCD's que se muestra en la tabla 5.18, la totalidad separada por la grúa de gancho se separa para la venta o almacenado, no pudiendo continuar el proceso en la trituradora.

Tabla 5.18: Extracción por grúa de gancho de los residuos pertenecientes al mezclado de los RCD (parte 3) de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Piezas largas	60,00	7,99	60	4,80	3,20	0,00	4,80
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	4,00	0	0,00	4,00	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	1,33	0	0,00	1,33	0,00	0,00
17 04 04	Zinc	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	60,00	303,34	60	182,00	121,34	0,00	182,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	151,67	0	0,00	151,67	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	50,56	0	0,00	50,56	0,00	0,00
17 04 06	Estaño	Piezas largas	60,00	6,31	60	3,79	2,52	0,00	3,79
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	3,16	0	0,00	3,16	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	1,05	0	0,00	1,05	0,00	0,00
17 04 11	Cables	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	0	0,00	0,12	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
TOTAL				42.902,32		8.674,21	34.228,11	401,63	8.272,58

Así, de nuevo, comprobamos:



**BALANCE DE MATERIA:**

- 311 Segregados+669 Pétreos+401 RCD's =1.382 toneladas de pétreos de grandes dimensiones son extraídas por la grúa de gancho de la corriente principal, y desplazadas directamente a la trituradora de mandíbula.

- 8.273 toneladas de residuos de carácter no pétreo son extraídas por la grúa de gancho de la corriente principal para ser vendidos o desechados.

Lo que resulta un total de 81.536 toneladas de residuos se reintroducen al proceso de planta por el almacenado intermedio de la tolva.

**5.2.2. Separación por tamaño de partícula en la criba vibratoria**

Ahora se realiza la separación por tamaño de los residuos. De nuevo, se pretende separar el resto de los residuos de grandes fracciones de escombros que antes no pudieron serlo y llevarlas a la trituradora para la disminución de tamaño.

En las tablas se ve el proceso en cuestión con las cantidades resultantes destinadas a la trituradora y a la tolva.

Tabla 5.19: Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos segregadas de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a criba		Criba	Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	826,20	100	826,20	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	108,00	0	0,00	108,00
		< 4 mm	54,00	0	0,00	54,00
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	165,24	100	165,24	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	21,60	0	0,00	21,60
		< 4 mm	10,80	0	0,00	10,80
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	585,23	100	585,23	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	76,50	0	0,00	76,50
		< 4 mm	38,25	0	0,00	38,25
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	351,14	100	351,14	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	45,90	0	0,00	45,90
		< 4 mm	22,95	0	0,00	22,95
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	3.351,60	100	3.351,60	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.425,00	0	0,00	1.425,00
		< 4 mm	855,00	0	0,00	855,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	1.411,20	100	1.411,20	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	600,00	0	0,00	600,00
		< 4 mm	360,00	0	0,00	360,00
TOTAL			10.308,60		6.690,60	3.618,00

Tabla 5.20: Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a criba		Criba	Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros>40 mm	2.926,13	100	2.926,13	0
		40 mm >Promedio >4 mm	382,50	0	0	382,50
		<4 mm	191,25	0	0	191,25
17 01 02	Ladrillos	Escombros >40 mm	11.870,25	100	11.870,25	0
		40 mm >Promedio >4 mm	5.046,88	0	0	5.046,88
		<4 mm	3.028,13	0	0	3.028,13
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros >40 mm	4.998,00	100	4.998,00	0
		40 mm >Promedio >4 mm	2.125,00	0	0	2.125,00
		<4 mm	1.275,00	0	0	1.275,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros >40 mm	0,00	100	0	0
		40 mm >Promedio >4 mm	1.000,00	0	0	1.000,00
		<4 mm	1.500,00	0	0	1.500,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros >40 mm	1.062,50	100	1.062,50	0
		40 mm >Promedio>4 mm	1.328,13	0	0	1.328,13
		<4 mm	265,63	0	0	265,63
TOTAL			36.999,38		20.856,88	16.142,50

Es destacable que la criba separa el 100% de la fracción gruesa. Se comprueba que todos los materiales sufren el mismo proceso de separación, la parte de escombros es destinada a la trituradora y el restante pasan a la tolva de almacenamiento intermedio.

#### BALANCE DE MATERIA:

- Residuos a la trituradora=  $6.691+20.857+18.029=45.577$  t
- Residuos a la tolva=  $3.618+16.143+16.199=35960$  t

Es decir, de la totalidad de las 81.536 toneladas de la mezcla de residuos entrantes a la criba vibratoria un 55,9% es destinado a la trituradora mientras que el 44,1% restante es canalizado a través de tolva de almacenamiento intermedio.

Tabla 5.21: Separación por tamaño en la criba vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a criba		Criba	Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	No film,no pvc	Escombros> 40 mm	1755,68	100	1755,68	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	229,50	0	0,00	229,50
		< 4 mm	114,75	0	0,00	114,75
17 01 02	Ladrillos	Escombros> 40 mm	7122,15	100	7122,15	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	3028,13	0	0,00	3028,13
		< 4 mm	1816,88	0	0,00	1816,88
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros> 40 mm	2998,80	100	2998,80	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	1275,00	0	0,00	1275,00
		< 4 mm	765,00	0	0,00	765,00
	Arena, grava y otros agregados	Escombros> 40 mm	0,00	100	0,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	600,00	0	0,00	600,00
		< 4 mm	900,00	0	0,00	900,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros> 40 mm	637,50	100	637,50	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	796,88	0	0,00	796,88
		< 4 mm	159,38	0	0,00	159,38
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros> 20 cm	1190,00	100	1190,00	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	850,00	0	0,00	850,00
		< 4 mm	425,00	0	0,00	425,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	47,60	100	47,60	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	17,00	0	0,00	17,00
		< 4 mm	34,00	0	0,00	34,00
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	1088,00	100	1088,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	510,00	0	0,00	510,00
		< 4 mm	170,00	0	0,00	170,00
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	85,00	100	85,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	127,50	0	0,00	127,50
		< 4 mm	85,00	0	0,00	85,00
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	189,21	100	189,21	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	135,15	0	0,00	135,15
		< 4 mm	67,58	0	0,00	67,58
	PVC	Piezas largas	167,79	100	167,79	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	119,85	0	0,00	119,85
		< 4 mm	59,93	0	0,00	59,93
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	1428,00	100	1428,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	1785,00	0	0,00	1785,00
		< 4 mm	595,00	0	0,00	595,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	72,00	100	72,00	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	90,00	0	0,00	90,00
		< 4 mm	30,00	0	0,00	30,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	656,70	100	656,70	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	469,07	0	0,00	469,07
		< 4 mm	234,54	0	0,00	234,54
	Carton	Piezas largas	276,28	100	276,28	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	197,34	0	0,00	197,34
		< 4 mm	98,67	0	0,00	98,67
	Films de polietileno	Piezas largas	187,02	100	187,02	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	133,59	0	0,00	133,59
		< 4 mm	66,79	0	0,00	66,79
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
17 04 03	Plomo	Piezas largas	3,20	100	3,20	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	4,00	0	0,00	4,00
		< 4 mm	1,33	0	0,00	1,33
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	121,34	100	121,34	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	151,67	0	0,00	151,67
		< 4 mm	50,56	0	0,00	50,56
17 04 06	Estaño	Piezas largas	2,52	100	2,52	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	3,16	0	0,00	3,16
		< 4 mm	1,05	0	0,00	1,05
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,10	100	0,10	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,12	0	0,00	0,12
		< 4 mm	0,04	0	0,00	0,04
TOTAL			34228,11		18029,18	16198,93

### 5.2.3. Reducción del tamaño de partícula con trituradora de mandíbula

Esta parte del proceso se trata de obtener una reducción del tamaño de la partícula. Se utilizan también las trituradoras de mandíbula y se mantienen su condición de ser sencillas en cuanto a utilización, bajo mantenimiento y grandes aperturas de entrada. Se considera que es triturado el 100%, así que después, no hay fracción gruesa.

Tabla 5.22: Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos segregadas de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a trituradora		Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Salida	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	918,00	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	356,40
		< 4 mm	0,00	61,18	561,60
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	183,60	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	71,28
		< 4 mm	0,00	61,18	112,32
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	650,25	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	252,45
		< 4 mm	0,00	61,18	397,80
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	390,15	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	38,82	151,47
		< 4 mm	0,00	61,18	238,68
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	3.420,00	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	1026,00
		< 4 mm	0,00	70	2394,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	1.440,00	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	432,00
		< 4 mm	0,00	70	1008,00
TOTAL			7.002,00		7.002,00

Tabla 5.23: Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a trituradora		Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Salida	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros> 40 mm	3.251,25	0	0
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	38,82	1.262,25
		< 4 mm	0,00	61,18	1.989,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	12.112,50	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	3.633,75
		< 4 mm	0,00	70	8.478,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	5.100,00	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	30	1.530,00
		< 4 mm	0,00	70	3.570,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	0	0
		40 mm > Promedio > 4 mm	0,00	0	0
		< 4 mm	0,00	0	0
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	1.062,50	0	0
		40 mm > Promedio> 4 mm	0,00	62,5	664,06
		< 4 mm	0,00	37,5	398,44
TOTAL			21.526,25		21.526,25

Tabla 5.24: Reducción del tamaño de partícula por trituradora de mandíbula de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado genérico de RCD's de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a trituradora		Trituradora	Tolva
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Salida	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros> 40 mm	1.950,75	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	38,82	757,35
		< 4 mm	0,00	61,18	1.193,40
17 01 02	Ladrillos	Escombros> 40 mm	7.267,50	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	30,00	2.180,25
		< 4 mm	0,00	70,00	5.087,25
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros> 40 mm	3.060,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	30,00	918,00
		< 4 mm	0,00	70,00	2.142,00
	Arena, grava y otros agregados	Escombros> 40 mm	0,00	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	0	0,00
		< 4 mm	0,00	0	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros> 40 mm	637,50	0	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	0,00	62,50	398,44
		< 4 mm	0,00	37,50	239,06
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros> 20 cm	1.190,00	0	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	0,00	71,11	846,22
		< 4 mm	0,00	28,89	343,78
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	47,60	0	0,00
		20cm > Promedio> 4 mm	0,00	54,29	25,84
		< 4 mm	0,00	45,71	21,76
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	1.088,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	75,94	826,22
		< 4 mm	0,00	24,06	261,78
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	85,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	65,71	55,86
		< 4 mm	0,00	34,29	29,14
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	189,21	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	131,45
		< 4 mm	0,00	30,53	57,76
	PVC	Piezas largas	167,79	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	116,57
		< 4 mm	0,00	30,53	51,22
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	1.428,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	76,48	1.092,12
		< 4 mm	0,00	23,52	335,88
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	72,00	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	53,06
		< 4 mm	0,00	26,30	18,94
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	656,70	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	456,23
		< 4 mm	0,00	30,53	200,47
	Carton	Piezas largas	276,28	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	191,94
		< 4 mm	0,00	30,53	84,34
	Films de polietileno	Piezas largas	187,02	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	69,47	129,93
		< 4 mm	0,00	30,53	57,09
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
17 04 03	Plomo	Piezas largas	3,20	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	2,36
		< 4 mm	0,00	26,30	0,84
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	121,34	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	89,43
		< 4 mm	0,00	26,30	31,91
17 04 06	Estaño	Piezas largas	2,52	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	1,86
		< 4 mm	0,00	26,30	0,66
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,10	0	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	0,00	73,70	0,07
		< 4 mm	0,00	26,30	0,03
TOTAL			18430,81		18430,81

### 5.2.4. Separación magnética

Ahora de la misma forma que en la básica se produce la separación magnética hecha con un imán en banda, que se ha explicado anteriormente. Se considera que se extrae alrededor de un 70% de acero, que son 226 toneladas aproximadamente.

### 5.2.5. Separación por tamaño de partícula en la criba rotatoria

Aquí se produce una última separación por tamaño, de la misma forma que en la básica, se separan las gruesas de las más finas, que salen del proceso.

Tabla 5.25: Separación por tamaño en la rotatoria vibratoria de las corrientes de residuos segregadas de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a criba		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	464,4
		40 mm > Promedio > 4 mm	464,40	4mm > Fino > 0,063	34,20	369,36
		< 4 mm	615,60	2mm > Todas en una	22,80	246,24
17 01 01	Hormigón (HA-segregado)	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	92,88
		40 mm > Promedio > 4 mm	92,88	4mm > Fino > 0,063	34,20	73,872
		< 4 mm	123,12	2mm > Todas en una	22,80	49,248
17 01 01	Hormigón (HA-pétreo mezclado)	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	328,95
		40 mm > Promedio > 4 mm	328,95	4mm > Fino > 0,063	34,20	261,63
		< 4 mm	436,05	2mm > Todas en una	22,80	174,42
17 01 01	Hormigón (HA-RCD mezclado)	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	197,37
		40 mm > Promedio > 4 mm	197,37	4mm > Fino > 0,063	34,20	156,978
		< 4 mm	261,63	2mm > Todas en una	22,80	104,652
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43,00	2451
		40 mm > Promedio > 4 mm	2.451,00	4mm > Fino > 0,063	34,20	1949,4
		< 4 mm	3.249,00	2mm > Todas en una	22,80	1299,6
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43,00	1032
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.032,00	4mm > Fino > 0,063	34,20	820,8
		< 4 mm	1.368,00	2mm > Todas en una	22,80	547,2
TOTAL			10.620,00	10.620,00		

Tabla 5.26: Separación por tamaño en la rotatoria vibratoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a la criba		Salida de la criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de la partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros>40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	1644,75
		40 mm >Promedio >4 mm	1.644,75	4mm > Fino > 0,063	34,20	1308,15
		< 4 mm	2.180,25	2mm > Todas en una	22,80	872,1
17 01 02	Ladrillos	Escombros >40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	8680,625
		40 mm >Promedio >4 mm	8.680,63	4mm > Fino > 0,063	34,2	6904,125
		< 4 mm	11.506,88	2mm > Todas en una	22,8	4602,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros >40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	3655
		40 mm >Promedio >4 mm	3.655,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	2907
		< 4 mm	4.845,00	2mm > Todas en una	22,8	1938
Arena, grava y otros agregados		Escombros >40 mm	0,00	Grueso > 4mm	40	1.000,00
		40 mm >Promedio >4 mm	1.000,00	4mm > Fino > 0,063	20	500,00
		< 4 mm	1.500,00	2mm > Todas en una	40	1.000,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros >40 mm	0,00	Grueso > 4mm	75	1992,1875
		40 mm >Promedio>4 mm	1.992,19	4mm > Fino > 0,063	20	531,25
		< 4 mm	664,06	2mm > Todas en una	5	132,8125
TOTAL			37.668,75			37.668,75

Tabla 5.27: Separación por tamaño en la criba rotatoria de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a criba		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	Tamaño de partícula	% Separación	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombro> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	986,85
		40 mm >Promedio > 4 mm	986,85	4mm > Fino > 0,063	34,2	784,89
		< 4 mm	1.308,15	2mm > Todas en una	22,8	523,26
17 01 02	Ladrillos	Escombro> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	5.208,38
		40 mm >Promedio > 4 mm	5.208,38	4mm > Fino > 0,063	34,2	4.142,48
		< 4 mm	6.904,13	2mm > Todas en una	22,8	2.761,65
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombro> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	43	2.193,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	2.193,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.744,20
		< 4 mm	2.907,00	2mm > Todas en una	22,8	1.162,80
Arena, grava y otros agregados		Escombro> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	40	600,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	600,00	4mm > Fino > 0,063	20	300,00
		< 4 mm	900,00	2mm > Todas en una	40	600,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombro> 40 mm	0,00	Grueso > 4mm	75	1.195,31
		40 mm >Promedio > 4 mm	1.195,31	4mm > Fino > 0,063	20	318,75
		< 4 mm	398,44	2mm > Todas en una	5	79,69
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombro> 20 cm	0,00	Grueso > 4mm	68,8	1.695,92
		20cm > Promedio> 4 mm	1.696,22	4mm > Fino > 0,063	27,2	670,48
		< 4 mm	768,78	2mm > Todas en una	4,0	98,60
17 08 02	Yeso de construcción	Escombro > 20 cm	0,00	Grueso > 4mm	43,4	42,79
		20cm > Promedio> 4 mm	42,84	4mm > Fino > 0,063	47,7	47,03
		< 4 mm	55,76	2mm > Todas en una	8,9	8,78
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	0,00	Grueso > 4mm	75,6	1.336,61
		20cm > Promedio > 4 mm	1.336,22	4mm > Fino > 0,063	21,8	385,42
		< 4 mm	431,78	2mm > Todas en una	2,6	45,97
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	61,6	183,26
		20cm > Promedio > 4 mm	183,36	4mm > Fino > 0,063	32,0	95,20
		< 4 mm	114,14	2mm > Todas en una	6,4	19,04
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	266,52
		20cm > Promedio > 4 mm	266,60	4mm > Fino > 0,063	27,4	107,39
		< 4 mm	125,33	2mm > Todas en una	4,6	18,03
	PVC	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	236,34
		20cm > Promedio > 4 mm	236,42	4mm > Fino > 0,063	27,4	95,23
		< 4 mm	111,15	2mm > Todas en una	4,6	15,99
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	75,6	2.878,85
		20cm > Promedio > 4 mm	2.877,12	4mm > Fino > 0,063	20,7	788,26
		< 4 mm	930,88	2mm > Todas en una	3,7	140,90
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	143,04
		20cm > Promedio > 4 mm	143,06	4mm > Fino > 0,063	21,7	41,66
		< 4 mm	48,94	2mm > Todas en una	3,8	7,30
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	925,01
		20cm > Promedio > 4 mm	925,30	4mm > Fino > 0,063	27,4	372,72
		< 4 mm	435,00	2mm > Todas en una	4,6	62,57
	Cartón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	389,16
		20cm > Promedio > 4 mm	389,29	4mm > Fino > 0,063	27,4	156,81
		< 4 mm	183,01	2mm > Todas en una	4,6	26,33
	Films de polietileno	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	68,0	263,43
		20cm > Promedio > 4 mm	263,52	4mm > Fino > 0,063	27,4	106,15
		< 4 mm	123,88	2mm > Todas en una	4,6	17,82
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
17 04 03	Plomo	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	6,35
		20cm > Promedio > 4 mm	6,35	4mm > Fino > 0,063	21,7	1,85
		< 4 mm	2,17	2mm > Todas en una	3,8	0,32
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	72,32
		20cm > Promedio > 4 mm	72,33	4mm > Fino > 0,063	21,7	21,06
		< 4 mm	24,74	2mm > Todas en una	3,8	3,69
17 04 06	Estaño	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	5,02
		20cm > Promedio > 4 mm	5,02	4mm > Fino > 0,063	21,7	1,46
		< 4 mm	1,72	2mm > Todas en una	3,8	0,26
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,00	Grueso > 4mm	74,5	0,20
		20cm > Promedio > 4 mm	0,20	4mm > Fino > 0,063	21,7	0,06
		< 4 mm	0,07	2mm > Todas en una	3,8	0,01
TOTAL			34.403,24			34.403,24

### 5.2.6. Separación por densidad en el tamiz por flujo de aire

Ahora de nuevo sólo los gruesos continúan. Se considera un 80% de separación.

Tabla 5.28: Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Tamizado por flujo de aire			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	1.336,61	80	1.069,29
17 02 03	No film,no pvc	Grueso > 4mm	266,52	80	213,21
(Plástico)	PVC	Grueso > 4mm	236,34	80	189,08
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	2.878,85	80	2.303,08
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	143,04	80	114,43
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	925,01	80	740,01
(Embalaje mixto)	Cartón	Grueso > 4mm	389,16	80	311,33
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	263,43	80	210,75
<b>TOTAL</b>			<b>6.438,96</b>		<b>5.151,16</b>

Lo que quiere decir que, de las 40.168 toneladas de mezcla de residuos gruesos provenientes de la criba rotatoria, aproximadamente 5.151 son extraídas.

### 5.2.7. Separación final en la cabina de clasificado manual

Aproximadamente 202 t se extraen de la corriente principal, dando lugar a una mezcla más limpia, con resultados de mayor calidad.

Tabla 5.29: Extracción manual en la cabina de clasificado de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Extracción manual en la cabina de clasificado			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	267,32	30	80,20
17 02 03	No film,no pvc	Grueso > 4mm	53,30	30	15,99
(Plástico)	PVC	Grueso > 4mm	47,27	30	14,18
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	575,77	30	172,73
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	28,61	30	8,58
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	185,00	30	55,50
(Embalaje mixto)	Cartón	Grueso > 4mm	77,83	30	23,35
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	52,69	30	15,81
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	6,35	30	1,91
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	72,32	30	21,69
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	5,02	30	1,50
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,20	30	0,06
<b>TOTAL</b>			<b>1.372,27</b>		<b>411,68</b>



## 5.2.8. Resultados generales de la planta intermedia

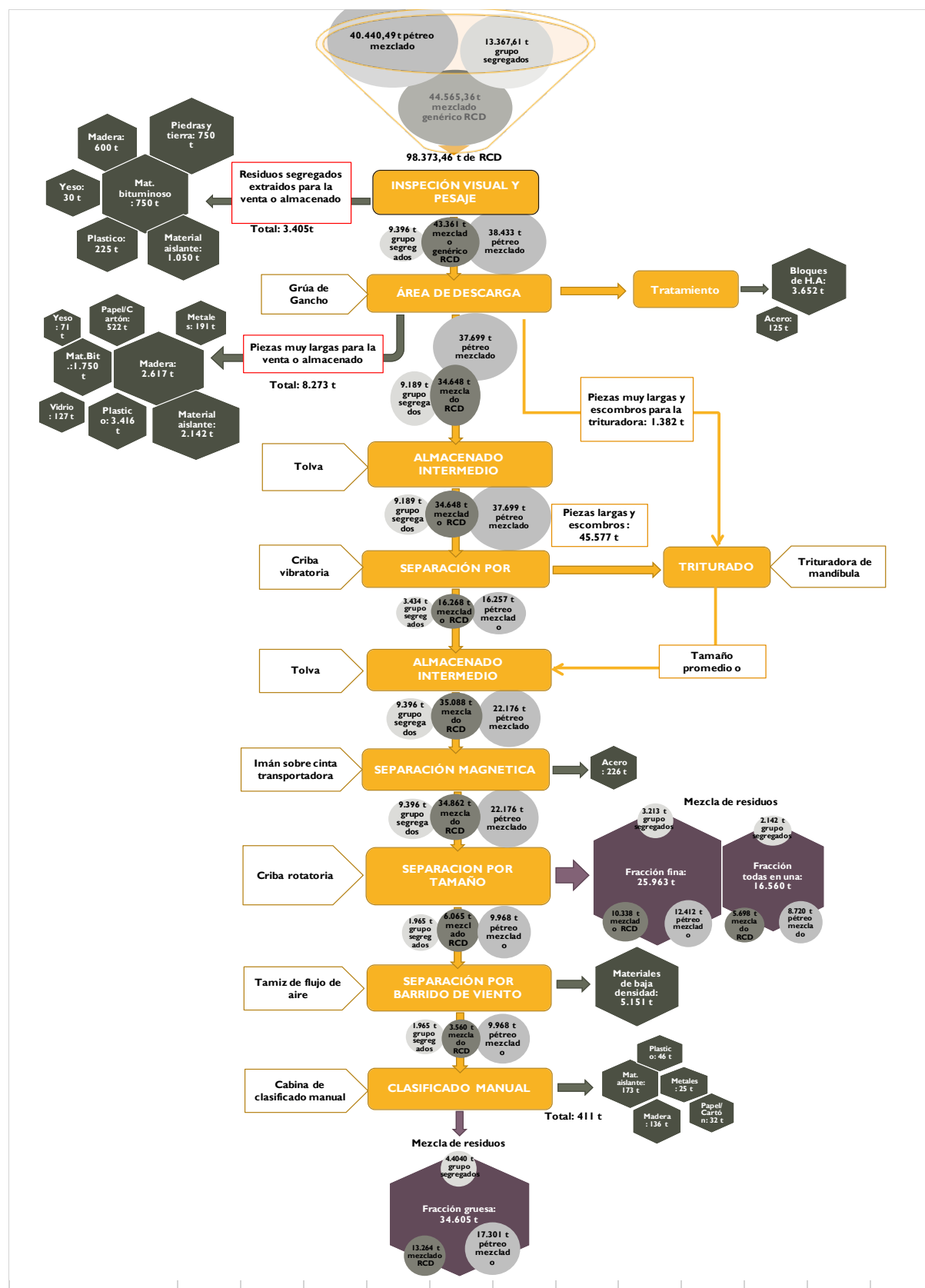


Figura 5.11: Disposición final de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.30: Tabla resumen de las salidas de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA				SALIDA				
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton) Pétreo mezclado	RCD mezclado
Segregado	13.367,61	Bloques de H.A	3.652,17	Bloques de H.A	3.652,17	547,83	1.940,22	1.164,13
		Basado en yeso	101,40	Basado en yeso	101,40	30,00	0	71,40
		Madera	3.352,74	Madera	2.312,20	600,00	0	1.712,20
				Tablas de madera	1.040,55	0	0	1.040,55
		Plástico	1.087,01	Otro plástico	419,06	119,25	0	299,81
				Plástico pvc	371,62	105,75	0	265,87
				Films de polietileno	296,34	0	0	296,34
		Papel/cartón	554,35	Cartón	437,77	0	0	437,77
				Empaques de papel y cartón	116,58	0	0	116,58
		Pétreo mezclado	40.440,49	Árido cerámico mixto	77.129,14	Grueso	34.605,26	4040,28
Fino	25.963,84					3213,43	12.412,16	10.338,26
Todas en una	16.560,04					2142,29	8.720,08	5.697,67
Metales	568,24			Cobre,bronce, latón	0,21	0	0	0,21
				Aluminio	0,21	0	0	0,21
				Plomo	6,70	0	0	6,70
				Zinc	0,21	0	0	0,21
				Hierro y acero	555,41	18,78	66,52	470,10
				Estaño	5,29	0	0	5,29
				Cables	0,21	0	0	0,21
Mezclado genérico de RCD's	44.565,36	Piedras y tierra	750,00	Piedras y tierra	750,00	750,00	0	0
		Material bituminoso	2.535,00	Material bituminoso	2.535,00	750,00	0	1.785,00
		Vidrio	127,50	Vidrio	127,50	0	0	127,50
		Materiales de baja densidad	5.151,16	Materiales de baja densidad	5.151,16	0	0	5.151,16
		Otros residuos	3.364,73	Material aislante	3.364,73	1.050,00	0	2.314,73
TOTAL	98.373,46		98.373,46		98.373,46	13.367,61	40.440,49	44.565,36

En la figura se observa el conjunto del proceso de forma visual, y aunque se especifican numéricamente las entradas y salidas, es gracias a la tabla señalada anteriormente que se comprueba exactamente los flujos de salida, tanto de árido reciclado como de los distintos materiales separados para la venta, así como su procedencia.

### **5.3. PROCESO Y SALIDAS DE PLANTA DE RECICLAJE DESARROLLADA**

Una vez planteado el funcionamiento de una planta básica y obtenidos sus resultados, planteamos también una que trabaje de la misma forma, pero con más maquinaria al final de la planta, similar a la avanzada, con el fin de modificar y mejorar los resultados y la calidad de los productos, pero sin los costos y la laboriosidad añadida de la avanzada.

Esto es, que una vez los residuos llegan a la criba rotatoria y se separan en gruesos, finos y todo en uno (estos últimos abandonarían aquí el proceso), continúan en la planta, pero con tratamientos específicos. Por un lado, los finos y todo en uno antes de abandonar pasarían por la espiral. Por otro, los gruesos continuarían con un tratamiento en la sacudidora de humedad en dos fases, previo tamizado por flujo de aire.

En las siguientes tablas, se mostrará la continuación del proceso a partir de la criba rotatoria, mostrada en el apartado 5.1, tabla 5.10

#### **5.3.1. Separación por espiral**

En primer lugar, se plasma el tratamiento de la fracción fina y todo en una. En esta parte del proceso se utilizan la propiedad de la densidad de los residuos y se consiguen separa en dos fracciones de residuos, por un lado, los de alta densidad y por el otro de baja.

Tabla 5.31: Proceso de separación de la fracción fina y todo en una en la espira de la planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada espiral			Salida espiral			
CER	Descripción	Tamaño de partícula mm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m3)	Corriente alta densidad		Corriente baja densidad(lodo)	
					% Separación	Ton	%Separacion Ton	
17 01 01	Hormigón	4mm > Fino > 0,063	2.462,40	2500	90	2.216,16	10	246,24
		2mm > Todas en una	1.641,60	2500	90	1.477,44	10	164,16
17 01 02	Hormigón (HA)	4mm > Fino > 0,063	492,48	2200	90	443,23	10	49,25
		2mm > Todas en una	328,32	2200	90	295,49	10	32,83
17 01 02	Ladrillos	4mm > Fino > 0,063	12.996,00	2200	90	11.696,40	10	1.299,60
		2mm > Todas en una	8.664,00	2200	90	7.797,60	10	866,40
17 01 03	Azulejos y cerámicos	4mm > Fino > 0,063	5.472,00	2200	90	4.924,80	10	547,20
		2mm > Todas en una	3.648,00	2200	90	3.283,20	10	364,80
Arena, grava y otros agregados		4mm > Fino > 0,063	800,00	2000	0	0,00	100	800,00
		2mm > Todas en una	1.600,00	2000	0	0,00	100	1.600,00
17 05 04	Piedras y tierra	4mm > Fino > 0,063	850,00	1400	0	0,00	100	850,00
		2mm > Todas en una	212,50	1400	0	0,00	100	212,50
17 03 02	Mezcla bituminosa	4mm > Fino > 0,063	670,48	1000	0	0,00	100	670,48
		2mm > Todas en una	98,60	1000	0	0,00	100	98,60
17 08 02	Yeso de construcción	4mm > Fino > 0,063	47,03	2400	90	42,33	10	4,70
		2mm > Todas en una	8,78	2400	90	7,90	10	0,88
17 02 01	Madera	4mm > Fino > 0,063	385,42	800	0	0,00	100	385,42
		2mm > Todas en una	45,97	800	0	0,00	100	45,97
17 02 02	Vidrio	4mm > Fino > 0,063	95,20	2500	90	85,68	10	9,52
		2mm > Todas en una	19,04	2500	90	17,14	10	1,90
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	4mm > Fino > 0,063	107,39	1200	0	0,00	100	107,39
		2mm > Todas en una	18,03	1200	0	0,00	100	18,03
	PVC	4mm > Fino > 0,063	95,23	1400	0	0,00	100	95,23
		2mm > Todas en una	15,99	1400	0	0,00	100	15,99
17 06 04	Material aislante	4mm > Fino > 0,063	788,26	600	0	0,00	100	788,26
		2mm > Todas en una	140,90	600	0	0,00	100	140,90
15 01 01	Empaques de papel y cartón	4mm > Fino > 0,063	41,66	900	0	0,00	100	41,66
		2mm > Todas en una	7,30	900	0	0,00	100	7,30
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	4mm > Fino > 0,063	372,72	800	0	0,00	100	372,72
		2mm > Todas en una	62,57	800	0	0,00	100	62,57
	Cartón	4mm > Fino > 0,063	156,81	900	0	0,00	100	156,81
		2mm > Todas en una	26,33	900	0	0,00	100	26,33
	Films de polietileno	4mm > Fino > 0,063	106,15	950	0	0,00	100	106,15
		2mm > Todas en una	17,82	950	0	0,00	100	17,82
17 04 01	Cobre, bronce, latón	4mm > Fino > 0,063	0,06	1800	0	0,00	100	0,06
		2mm > Todas en una	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
17 04 02	Aluminio	4mm > Fino > 0,063	0,06	1800	0	0,00	100	0,06
		2mm > Todas en una	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
17 04 03	Plomo	4mm > Fino > 0,063	1,85	1800	0	0,00	100	1,85
		2mm > Todas en una	0,32	1800	0	0,00	100	0,32
17 04 04	Zinc	4mm > Fino > 0,063	0,06	1800	0	0,00	100	0,06
		2mm > Todas en una	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	4mm > Fino > 0,063	21,06	1800	0	0,00	100	21,06
		2mm > Todas en una	3,69	1800	0	0,00	100	3,69
17 04 06	Estaño	4mm > Fino > 0,063	1,46	1800	0	0,00	100	1,46
		2mm > Todas en una	0,26	1800	0	0,00	100	0,26
17 04 11	Cables	4mm > Fino > 0,063	0,06	1800	0	0,00	100	0,06
		2mm > Todas en una	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
TOTAL			42.523,89			32.287,36		10.236,52

Aquí, abandonarían el proceso estas fracciones de residuos, que como se ha indicado, forman parte de la fracción fina y de todas en una, pero tratadas en un paso más que en la básica, mejorando así la calidad del árido reciclado. Por otro lado, queda el tratamiento de la fracción gruesa:

### 5.3.2. Separación por flujo de aire

Tabla 5.32: Tamizado por flujo de aire de la fracción gruesa de la planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Tamizado por flujo de aire			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	1.336,61	80	1.069,29
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Grueso > 4mm	266,52	80	213,21
	PVC	Grueso > 4mm	236,34	80	189,08
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	2.878,85	80	2.303,08
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	143,04	80	114,43
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	925,01	80	740,01
	Cartón	Grueso > 4mm	389,16	80	311,33
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	263,43	80	210,75
<b>TOTAL</b>			6.438,96		5.151,16

En esta parte del proceso, como ha sido indicado, sólo continúa la fracción gruesa, con la intención de darle mejor tratamiento y así mejorar la calidad del producto, siendo precisamente el de esta fracción gruesa el más valorado. Es por ello, que antes de ello, se separen los materiales de baja densidad, ya que al igual que en la planta básica, este flujo de salida que se observa en la tabla 5.32 comprometería la calidad del árido de continuar en el proceso.

### 5.3.3. Separación por densidad en sacudidora

Por último, se produce la separación por densidad en la sacudidora con la fracción de gruesos que continúa en el proceso. Se realiza en dos etapas distintas, gracias a las cuales se obtienen tres flujos de salida: cerámicos, de la primera etapa, y hormigón y yeso, gracias a la segunda.

Estas son las salidas finales de la planta.

Tabla 5.33: Proceso de separación por densidad de la fracción gruesa en la sacudidora en dos etapas de la planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Entrada a Sacudidora			Primera etapa en Sacudidora			Segunda etapa en Sacudidora		
		Tamaño partícula mm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Separación %	Hormigón Ton	Cerámicos Ton	Separación %	Hormigón Ton	Yeso Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	3.096,00	2.500	99,4	3.077,42	18,58	90	2.769,68	307,74
17 01 01	Hormigón (HA)	Grueso > 4mm	619,20	2.500	99,4	615,48	3,72	90	553,94	61,55
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	16.340,00	2.200	10	1.634,00	14.706,00	5	81,70	1.552,30
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	6.880,00	2.200	10	688,00	6.192,00	5	34,40	653,60
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	1.600,00	2.000	5	80,00	1.520,00	5	4,00	76,00
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	3.187,50	1.400	5	159,38	3.028,13	5	7,97	151,41
17 03 02	Mezcla bituminosa	Grueso > 4mm	1.695,92	1.500	5	84,80	1.611,12	5	4,24	80,56
17 08 02	Yeso de construcción	Grueso > 4mm	42,79	2.400	99,4	42,54	0,26	27,4	11,65	30,88
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	267,32	800	5	13,37	253,96	5	0,67	12,70
17 02 02	Vidrio	Grueso > 4mm	183,26	2.500	99,4	182,16	1,10	90	163,94	18,22
17 02 03 (Plástico)	No film, no pvc	Grueso > 4mm	53,30	1.200	5	2,67	50,64	5	0,13	2,53
	PVC	Grueso > 4mm	47,27	1.400	5	2,36	44,91	5	0,12	2,25
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	575,77	600	5	28,79	546,98	5	1,44	27,35
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	28,61	500	5	1,43	27,18	5	0,07	1,36
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	185,00	800	5	9,25	175,75	5	0,46	8,79
	Cartón	Grueso > 4mm	77,83	700	5	3,89	73,94	5	0,19	3,70
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	52,69	950	5	2,63	50,05	5	0,13	2,50
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,20	1.800	5	0,01	0,19	5	0,00	0,01
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,20	1.800	5	0,01	0,19	5	0,00	0,01
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	6,35	1.800	5	0,32	6,04	5	0,02	0,30
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,20	1.800	5	0,01	0,19	5	0,00	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	72,32	1.800	5	3,62	68,70	5	0,18	3,44
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	5,02	1.800	5	0,25	4,76	5	0,01	0,24
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,20	1.800	5	0,01	0,19	5	0,00	0,01
<b>TOTAL</b>			35.016,94	1614,58333		6.632,39	28.384,55		3.634,96	2.997,43

### 5.3.4. Resultados finales de la planta desarrollada

De la misma forma que en la básica se mostrarán a continuación tanto en la tabla 5.34 como en la figura 5.12 todos los resultados de la planta intermedia. Una vez más, en la figura observaremos el proceso de la planta en conjunto además de salidas en forma numérica, pero que serán especificadas con más detalle en la tabla.

Se comprueba que este proceso es de mayor complejidad que la planta básica, pero por otro lado con unos mejores resultados en cuanto al árido reciclado obtenido.

Tabla 5.34: Resumen general de las corrientes de salida de la planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA		SALIDA			
Grupo	Ton	Material	Ton	Composición	Ton
Segregado	13.367,61	Bloques de H.A	3.652,00	Bloques de H.A	3.652,00
		Basado en yeso	101,40	Basado en yeso	101,40
		Madera	3.217,05	Madera	2.232,00
				Tablas de madera	985,05
		Plástico	1.042,00	Otro plástico	424,00
				Plástico pvc	337,00
				Films de polietileno	281,00
Papel/cartón	522,00	Cartón	414,00		
		Empaques papel/cartón	108,00		
Pétreo mezclado	40.440,49	Árido Reciclado	67.304,00	Hormigón	3.635,00
				Cerámicos	28.385,00
				Árido mixto	32.287,00
				Yeso	2.997,00
		Metales	542,18	Cobre,bronce, latón	0,15
				Aluminio	0,15
				Plomo	4,80
Zinc	0,15				
Mezclado genérico de RCD's	44.565,36			Hierro y acero	533,00
				Estaño	3,79
				Cables	0,15
				Piedras y tierra	750,00
		Material bituminoso	2.500,00	Material bituminoso	2.500,00
		Vidrio	127,50	Vidrio	127,50
		Materiales de baja densidad	5.151,00	Materiales de baja densidad	5.151,00
Lodo	10.272,33	Lodo	10.272,33		
Otros residuos	3.192,00	Material aislante	3.192,00		
TOTAL	98.373,46		98.373,46		98.373,46

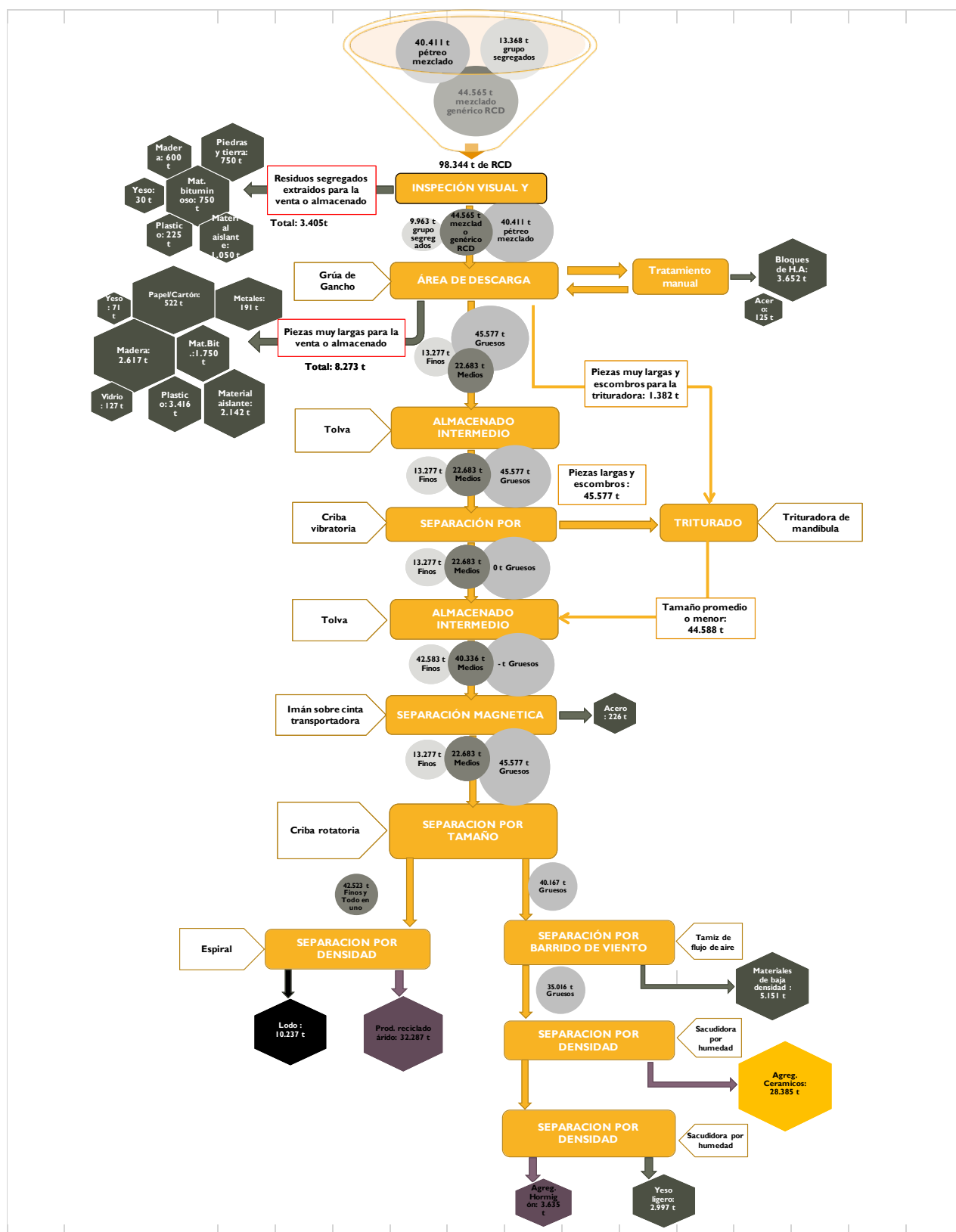


Figura 5.12: Disposición final de la planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.



## 5.4. PROCESO Y SALIDAS DE LA PLANTA DE RECICLAJE AVANZADA

Después de haber sido explicado el proceso básico, ahora se procede a detallar el proceso de una planta avanzada.

Como se ha mencionado anteriormente, la planta de reciclaje avanzada corresponde con una planta de reciclaje moderna con altas prestaciones, que posee maquinaria especializada y avanzada y que es capaz de generar productos de una calidad mayor a la básica, pero con un coste también mayor.

La otra gran diferenciación es que en este tipo de plantas los RCD's no se tratan conjuntamente sino en lotes separados, con un reciclaje más complejo y especializado.

### 5.4.1. Inspección visual y pesaje

Tabla 5.35: Cantidades de los residuos segregados correspondientes a la inspección y al pesaje de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
Segregado	17 01 01	Hormigón	1.080,00
	17 01 01	Total	782,61
	(Hormigón armado)	Hormigón	720,00
		Acero	62,61
	17 01 02	Ladrillos	5.700,00
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	2.400,00
	17 02 01	Madera	600,00
	17 02 03	Plástico	225,00
	17 03 02	Material bituminoso	750,00
	17 05 04	Piedras y tierra	750,00
	17 08 02	Yeso para construcción	30,00
	17 06 04	Material aislante	1.050,00
	Total segregado		13.367,61

Tabla 5.36: Cantidades de los residuos del pétreo mezclado correspondientes a la inspección y al pesaje de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
Pétreo mezclado	17 01 01	Hormigón	3.825,00
	17 01 01	Total	2.771,74
	(Hormigón armado)	Acero	221,74
		Hormigón	2.550,00
	17 01 02	Ladrillos	20.187,50
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	8.500,00
		Arena, grava y otros agregados	2.500,00
	17 05 04	Piedras y tierra	2.656,25
	Total pétreo mezclado		40.440,49

Tabla 5.37: Cantidades de los residuos del mezclado de los RCD correspondientes a la inspección y al pesaje de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

Grupo	CER	Descripción	Ton
RCD Mezclado	17 02 01	Madera	3.400,00
	17 02 02	Vidrio	425,00
	17 02 03	Plástico	1.275,00
	17 03 02	Materia bituminoso	4.250,00
	17 08 02	Yeso de construcción	170,00
	17 01 01	Hormigón	2.295,00
	17 01 01	Total	1.663,04
	(Hormigón armado)	Acero	133,04
		Hormigón	1.530,00
	17 01 02	Ladrillos	12.112,50
	17 01 03	Azulejos y cerámicos	5.100,00
	17 06 04	Material aislante	5.950,00
	17 04 01	Cobre, bronce y latón	0,41
	17 04 02	Aluminio	0,41
	17 04 03	Plomo	13,32
	17 04 04	Zinc	0,41
	17 04 05	Hierro	505,57
	17 04 06	Estaño	10,52
	17 04 11	Cables	0,41
		Arena, grava y otros agregados	1.500,00
	17 05 04	Piedras y tierra	1.593,75
	15 01 01	Empaques de papel y cartón	300,00
	15 01 06	Embalaje mezclado	4.000,00
	Total RCD mezclado		44.565,36

Como anteriormente, de todas las corrientes de residuos de los segregados, las únicas que se introducen al proceso de la planta son la del “Hormigón”, “Hormigón armado”, “Ladrillos”, y “Azulejos y cerámicos”. El resto de las corrientes son tratadas manual y posteriormente almacenadas o directamente almacenadas, ya sea para su venta o por qué poseen propiedades perjudiciales para el producto reciclado final. Esto quiere decir que, de la totalidad de las 13.367,61 toneladas de residuos segregados entrantes en la planta, 9.962 toneladas son las que realmente siguen el tratamiento.

En este tipo de planta no se requiere un tratamiento previo manual del hormigón armado, ya que se posee una maquinaria más especializada y se puede introducir al proceso y tratarlo. Las corrientes pétreas y de RCD's se introducen al proceso directamente. En este tipo de planta, se tratan los lotes por separado. Restando las corrientes segregadas que son desviadas del proceso, un total de 94.968 toneladas serán introducidas en el área de descarga.

#### 5.4.2. Área de descarga: extracción por grúa de gancho

Tabla 5.38: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos segregadas de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

		Entrada		Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Almacenado
CER	Descripción	Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombro > 40 mm	85	918,00	10	91,80	826,20	91,80
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	108,00	0	0,00	108,00	0,00
		< 4 mm	5	54,00	0	0,00	54,00	0,00
17 01 01	Hormigón armado	Escombro > 40 mm	100	626,09	10	62,61	563,48	62,61
		40 mm > Promedio > 4 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
		< 4 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombro > 40 mm	0	0,00	10	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	75	108,00	0	0,00	108,00	0,00
		< 4 mm	25	36,00	0	0,00	36,00	0,00
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	60	7,51	60	4,51	3,01	0,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30	3,76	20	0,75	3,01	0,00
		< 4 mm	10	1,25	0	0,00	1,25	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombro > 40 mm	60	3.420,00	2	68,40	3.351,60	68,40
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	1.425,00	0	0,00	1.425,00	0,00
		< 4 mm	15	855,00	0	0,00	855,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombro > 40 mm	60	1.440,00	2	28,80	1.411,20	28,80
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	600,00	0	0,00	600,00	0,00
		< 4 mm	15	360,00	0	0,00	360,00	0,00
TOTAL				9.962,61	256,87	9.705,74	251,61	5,26

Pese a que no se hace un tratamiento previo, el hormigón se trata de forma distinta a lo visto anteriormente, se divide en varias corrientes. Las corrientes de “Hormigón (roto)” y “Hierro y acero (roto)” se corresponden con el 20 % del hormigón armado que entra en la planta de forma fracturada.

De nuevo, la grúa de gancho extrae las piezas más grandes, como se ve en la tabla 5.39, de la cantidad total extraída por la grúa de gancho aproximadamente 252 toneladas se envían directamente a la trituradora debido a sus grandes dimensiones y 4,5 toneladas de acero son almacenadas para su posterior venta.

Tabla 5.39: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado pétreo de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

		ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Almacenado
CER	Descripción	Tamaño de partícula	% Inicial	Ton	% Extracción	Ton	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	85	3.251,25	10	325,13	2.926,13	325,13	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	10	382,50	0	0,00	382,50	0,00	0,00
		< 4 mm	5	191,25	0	0,00	191,25	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	100	2.217,39	10	221,74	1.995,65	221,74	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	75	382,50	0	0,00	382,50	0,00	18,63
		< 4 mm	25	127,50	0	0,00	127,50	0,00	0,00
17 01 01	Hierro y acero (roto)	Piezas largas	60	26,61	60	15,97	10,64	0,00	15,97
		20 cm > Promedio > 4 mm	30	13,30	20	2,66	10,64	0,00	2,66
		< 4 mm	10	4,43	0	0,00	4,43	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	60	12.112,50	2	242,25	11.870,25	242,25	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	5.046,88	0	0,00	5.046,88	0,00	0,00
		< 4 mm	15	3.028,13	0	0,00	3.028,13	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	60	5.100,00	2	102,00	4.998,00	102,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	25	2.125,00	0	0,00	2.125,00	0,00	0,00
		< 4 mm	15	1.275,00	0	0,00	1.275,00	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados	Escombros > 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
	40 mm > Promedio > 4 mm	40	1.000,00	0	0,00	1.000,00	0,00	0,00	
	< 4 mm	60	1.500,00	0	0,00	1.500,00	0,00	0,00	
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	40	1.062,50	0	0,00	1.062,50	0,00	0,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	50	1.328,13	0	0,00	1.328,13	0,00	0,00
		< 4 mm	10	265,63	0	0,00	265,63	0,00	0,00
TOTAL				40.440,49	909,74	39.530,75	891,11	18,63	

En el mezclado pétreo, aumenta la cantidad de residuos destinada a la trituradora en 891 toneladas, debido a la alta proporción de residuos pétreos contenida en la mezcla. 18,63 toneladas de hierro y acero son recuperadas del hormigón armado roto para su venta.

En la tabla 5.40, se puede observar que la tendencia se invierte, apenas 535 toneladas de residuos son desplazados directamente a la trituradora y 8.820 toneladas son almacenadas para la venta o ser desechadas, ya que el mezclado genérico de los RCD's está formado en su mayoría por plásticos, madera, papel, cartón y metales, y las corrientes pétreas son minoritarias. La extracción realizada por la grúa de gancho sobre los materiales es más rigurosa que la realizada en la planta básica, ya que, los porcentajes de extracción ya no sólo se aplican sobre la fracción

correspondiente al tamaño de partícula más grande, sino que también se aplican sobre la fracción promedia. Estos serán de valor menor que los anteriores.

Se observa así que, al igual que en las otras tres plantas, en el área de descarga es, por un lado, donde se determina la forma de tratar el hormigón y, por otro, donde se produce la separación de las piezas largas. En este caso efectivamente el hormigón no recibe un tratamiento manual como en las tres anteriores, pero si que se trata de forma especial como se ha visto reflejado, ya que el flujo de este material “se rompe”, para el correcto tratamiento de las partes de este material, formado también por acero.

Se refleja en las tablas 5.38 y 5.39 que la cantidad segregada y pétreo que se destina a la venta o almacenado es pequeña, siendo destinadas las piezas que capta la grúa de gancho a la trituradora, aptas para reducir su tamaño y continuar así el proceso. Sin embargo, de la corriente de RCD's se refleja lo contrario, y es que su mayoría no se destina a la trituradora, como se ve en la tabla 5.39.

Llegados a este punto, y en vista de continuar el proceso, el balance de materia resulta en que:

- 1677 toneladas de residuos pétreos de grandes dimensiones son extraídas por la grúa de gancho de la cantidad total que conforman los 3 lotes, y desplazadas directamente a la trituradora de impacto.
- 8.844 toneladas de residuos de carácter no pétreo son extraídas por la grúa de gancho para ser vendidos o desechados.

Lo que resulta en un total de 84.448 toneladas de residuos que siguen el proceso de planta por el almacenado intermedio en la tolva:

- 9.706 toneladas del lote de residuos segregados.
- 39.531 toneladas para el lote del mezclado pétreo.
- 35.211 toneladas correspondientes al mezclado genérico.

Tabla 5.40: Extracción por grúa de gancho de las corrientes de residuos pertenecientes al mezclado de los RCD. Fuente: Elaboración propia

		ENTRADA			Extracción por grúa de gancho		Tolva	Trituradora	Almacenado
CER	Descripción	Dist partícula	% Inicial	Ton	% Extacción	Ton	Ton	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombro> 40 mm	85,00	1.950,75	10	195,08	1.755,68	195,08	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	10,00	229,50	0	0,00	229,50	0,00	0,00
		< 4 mm	5,00	114,75	0	0,00	114,75	0,00	0,00
17 01 01	Hormigón armado	Escombro >40 mm	100	1.330,43	10	133,04	1.197,39	133,04	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombro >40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	75	229,50	0	0,00	229,50	0,00	0,00
		<4 mm	25	76,50	0	0,00	76,50	0,00	0,00
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	60	15,97	60	9,58	6,39	0,00	9,58
		20cm >Promedio > 4 mm	30	7,98	20	1,60	6,39	0,00	1,60
		<4 mm	10	2,66	0	0,00	2,66	0,00	0,00
17 01 02	Ladrillos	Escombro> 40 mm	60,00	7.267,50	2	145,35	7.122,15	145,35	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	25,00	3.028,13	0	0,00	3.028,13	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	1.816,88	0	0,00	1.816,88	0,00	0,00
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombro> 40 mm	60,00	3.060,00	2	61,20	2.998,80	61,20	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	25,00	1.275,00	0	0,00	1.275,00	0,00	0,00
		< 4 mm	15,00	765,00	0	0,00	765,00	0,00	0,00
Arena, grava y otros agregados		Escombro> 40 mm	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	40	600,00	0	0,00	600,00	0,00	0,00
		< 4 mm	60	900,00	0	0,00	900,00	0,00	0,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombro> 40 mm	40,00	637,50	0	0,00	637,50	0,00	0,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	50,00	796,88	0	0,00	796,88	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	159,38	0	0,00	159,38	0,00	0,00
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombro> 20 cm	70,00	2.975,00	60	1.785,00	1.190,00	0,00	1.785,00
		20cm > Promedio> 4 mm	20,00	850,00	20	170,00	680,00	0,00	170,00
		< 4 mm	10,00	425,00	0	0,00	425,00	0,00	0,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombro > 20 cm	70,00	119,00	60	71,40	47,60	0,00	71,40
		20cm > Promedio> 4 mm	10,00	17,00	20	3,40	13,60	0,00	3,40
		< 4 mm	20,00	34,00	0	0,00	34,00	0,00	0,00
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	80,00	2.720,00	60	1.632,00	1.088,00	0,00	1.632,00
		20cm > Promedio > 4 mm	15,00	510,00	20	102,00	408,00	0,00	102,00
		< 4 mm	5,00	170,00	0	0,00	170,00	0,00	0,00
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	50,00	212,50	60	127,50	85,00	0,00	127,50
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	127,50	0	0,00	127,50	0,00	0,00
		< 4 mm	20,00	85,00	0	0,00	85,00	0,00	0,00
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	70,00	473,03	60	283,82	189,21	0,00	283,82
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	135,15	20	27,03	108,12	0,00	27,03
		< 4 mm	10,00	67,58	0	0,00	67,58	0,00	0,00
	PVC	Piezas largas	70,00	419,48	60	251,69	167,79	0,00	251,69
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	119,85	20	23,97	95,88	0,00	23,97
		< 4 mm	10,00	59,93	0	0,00	59,93	0,00	0,00
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	60,00	3.570,00	60	2.142,00	1.428,00	0,00	2.142,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	1.785,00	0	0,00	1.785,00	0,00	0,00
		< 4 mm	10,00	595,00	0	0,00	595,00	0,00	0,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	60,00	180,00	60	108,00	72,00	0,00	108,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	90,00	20	18,00	72,00	0,00	18,00
		< 4 mm	10,00	30,00	0	0,00	30,00	0,00	0,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	70,00	1.641,75	60	985,05	656,70	0,00	985,05
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	469,07	20	93,81	375,26	0,00	93,81
		< 4 mm	10,00	234,54	0	0,00	234,54	0,00	0,00
	Carton	Piezas largas	70,00	690,70	60	414,42	276,28	0,00	414,42
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	197,34	20	39,47	157,87	0,00	39,47
		< 4 mm	10,00	98,67	0	0,00	98,67	0,00	0,00
	Films de polietileno	Piezas largas	70,00	467,55	60	280,53	187,02	0,00	280,53
		20cm > Promedio > 4 mm	20,00	133,59	20	26,72	106,87	0,00	26,72
		< 4 mm	10,00	66,79	0	0,00	66,79	0,00	0,00
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	20	0,02	0,10	0,00	0,02
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	20	0,02	0,10	0,00	0,02
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Piezas largas	60,00	7,99	60	4,80	3,20	0,00	4,80
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	4,00	20	0,80	3,20	0,00	0,80
		< 4 mm	10,00	1,33	0	0,00	1,33	0,00	0,00
17 04 04	Zinc	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	20	0,02	0,10	0,00	0,02
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	60,00	303,34	60	182,00	121,34	0,00	182,00
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	151,67	20	30,33	121,34	0,00	30,33
		< 4 mm	10,00	50,56	0	0,00	50,56	0,00	0,00
17 04 06	Estaño	Piezas largas	60,00	6,31	60	3,79	2,52	0,00	3,79
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	3,16	20	0,63	2,52	0,00	0,63
		< 4 mm	10,00	1,05	0	0,00	1,05	0,00	0,00
17 04 11	Cables	Piezas largas	60,00	0,25	60	0,15	0,10	0,00	0,15
		20cm > Promedio > 4 mm	30,00	0,12	20	0,02	0,10	0,00	0,02
		< 4 mm	10,00	0,04	0	0,00	0,04	0,00	0,00
TOTAL				44.565,36		9.354,69	35.210,67	534,67	8.820,02

### 5.4.3. Cabina de clasificado manual: separación manual

En esta parte del proceso, los trabajadores hacen un proceso de inspección y revisión y retiran aproximadamente el 30% de fracción de piezas de metales, plásticos, papel, cartón y de fragmentos de madera, que de alguna forma comprometerían la calidad del producto final reciclado.

En la tabla 5.41 se especifica mejor cuáles son exactamente los flujos que se extraen.

Tabla 5.41: Extracción manual en la cabina de clasificado sobre las corrientes afectadas de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

		Extracción manual en la cabina de clasificado			
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	3,01	30	0,90
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	10,64	30	3,19
17 01 01	Hierro y acero (roto)	Piezas largas	6,39	30	1,92
17 02 01	Madera	Piezas largas	1.088,00	30	326,40
17 02 03	No film,no pvc	Piezas largas	189,21	30	56,76
(Plástico)	PVC	Piezas largas	167,79	30	50,34
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	1.428,00	30	428,40
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	72,00	30	21,60
15 01 06	Tablas de madera	Piezas largas	656,70	30	197,01
(Embalaje mixto)	Cartón	Piezas largas	276,28	30	82,88
	Films de polietileno	Piezas largas	187,02	30	56,11
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,10	30	0,03
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,10	30	0,03
17 04 03	Plomo	Piezas largas	3,20	30	0,96
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,10	30	0,03
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	121,34	30	36,40
17 04 06	Estaño	Piezas largas	2,52	30	0,76
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,10	30	0,03
<b>TOTAL</b>			<b>4.212,49</b>		<b>1.263,75</b>

### 5.4.4. Reducción del tamaño de partícula y distribución por tamaño

En esta parte se reduce el tamaño de la partícula esta vez con una trituradora de impacto y además se produce la distribución de tamaño mediante la criba rotatoria.

Como se ha recalcado en varias ocasiones, el proceso de la planta avanzada es más complejo que el de la básica, y por ello también crea productos áridos de mucha mejor calidad. Ejemplo de ello es esta parte del proceso, en la que no sólo se trituran las piezas más largas como pasaba en la básica, intermedia y desarrollada, sino que aquí

se introducen todos los tamaños, y además la trituradora trabaja en conjunto con la criba, para asegurarse así que, si una partícula supera el tamaño al promedio, se reintroduce a la trituradora y no continua el proceso, siendo así un triturado perfecto.

Lo que sí que guarda semejanza con el proceso de triturado básico es que los porcentajes de salida varían dependiendo del tipo de material y que además se fijan según el tamaño de la partícula en cada uno de ellos. Las entradas son en cada caso, la suma de la cantidad proveniente del clasificado manual más las piezas muy largas que fueron separadas en el área de descarga por la grúa de gancho y no fueron separadas para su venta.

Tabla 5.42: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre las corrientes de residuos segregadas de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

		Entrada a trituradora		Salida trituradora*		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	%	Ton	Tamaño de partícula	%	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	918,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	464,40
		40 mm > Promedio > 4 mm	108,00	43	464,40	4mm > Fino > 0,063	34,2	369,36
		< 4 mm	54,00	57	615,60	2mm > Todas en una	22,8	246,24
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	626,09	-	0,00	Grueso > 4mm	-	0,00
		Hormigón	576,00	-	0,00	4mm > Fino > 0,063	-	0,00
		Acero	50,09	-	0,00	2mm > Todas en una	-	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	309,60
		40 mm > Promedio > 4 mm	108,00	43	309,60	4mm > Fino > 0,063	34,2	246,24
		< 4 mm	36,00	57	410,40	2mm > Todas en una	22,8	164,16
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	2,10	0	0,00	Grueso > 4mm	77,52	43,76
		20cm > Promedio > 4 mm	3,01	77,52	43,76	4mm > Fino > 0,063	20,27	11,44
		< 4 mm	1,25	22,48	12,69	2mm > Todas en una	2,22	1,25
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	3.420,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	2.451,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.425,00	43	2.451,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.949,40
		< 4 mm	855,00	57	3.249,00	2mm > Todas en una	22,8	1.299,60
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	1.440,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	1.032,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	600,00	43	1.032,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	820,80
		< 4 mm	360,00	57	1.368,00	2mm > Todas en una	22,8	547,20
TOTAL		9.956,45		9.956,45		9.956,45		

En este punto se observa cómo se produce en un primer lugar la reducción de tamaño de las fracciones más gruesas de las corrientes de residuos, que luego pasan por el cribado, y se consigue la separación de tamaño, pasando a ser ahora gruesos, finos y todas en una las fracciones de los tamaños.



Tabla 5.43: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre el lote de mezclado pétreo de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

		Entrada a trituradora		Salida trituradora*		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	%	Ton	Tamaño de partícula	%	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros > 40 mm	3.251,25	0	0,00	Grueso > 4mm	43	1.644,75
		40 mm > Promedio > 4 mm	382,50	43	1.644,75	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.308,15
		< 4 mm	191,25	57	2.180,25	2mm > Todas en una	22,8	872,10
17 01 01	Hormigón armado	Escombros > 40 mm	2.217,39	-	0,00	-	-	0,00
17 01 01	Hormigón(roto)	Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	1.096,50
		40 mm > Promedio > 4 mm	382,50	43	1.096,50	4mm > Fino > 0,063	34,2	872,10
		< 4 mm	127,50	57	1.453,50	2mm > Todas en una	22,8	581,40
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	8,66	0	0,00	Grueso > 4mm	77,52	155,90
		20cm > Promedio > 4 mm	10,64	77,52	155,90	4mm > Fino > 0,063	20,27	40,76
		< 4 mm	4,43	22,48	45,22	2mm > Todas en una	2,22	4,46
17 01 02	Ladrillos	Escombros > 40 mm	12.112,50	0	0,00	Grueso > 4mm	43	8.680,63
		40 mm > Promedio > 4 mm	5.046,88	43	8.680,63	4mm > Fino > 0,063	34,2	6.904,13
		< 4 mm	3.028,13	57	11.506,88	2mm > Todas en una	22,8	4.602,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros > 40 mm	5.100,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	3.655,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	2.125,00	43	3.655,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	2.907,00
		< 4 mm	1.275,00	57	4.845,00	2mm > Todas en una	22,8	1.938,00
Arena, grava y otros agregados		Escombros > 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	40	1.000,00
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.000,00	40	1.000,00	4mm > Fino > 0,063	20	500,00
		< 4 mm	1.500,00	60	1.500,00	2mm > Todas en una	40	1.000,00
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros > 40 mm	1.062,50	0	0,00	Grueso > 4mm	75	1.992,19
		40 mm > Promedio > 4 mm	1.328,13	75	1.992,19	4mm > Fino > 0,063	20	531,25
		< 4 mm	265,63	25	664,06	2mm > Todas en una	5	132,81
TOTAL			40.419,88		40.419,88			40.419,88

De esta forma se consigue preparar los tres lotes de residuos: segregados, pétreos y RCD's para su posterior tratamiento en vista a la obtención de áridos reciclados. Por un lado, gracias a la trituradora se consigue la mejora de tamaño, ya que así incluso las piezas más grandes que continúan tienen ahora el tamaño adecuado, sino que por otro lado también gracias al cribado, se separan las fracciones para sus respectivos tratamientos de densidad. En la planta avanzada se dispone de trituradora de impacto, a diferencia de las dos plantas anteriores, que eran de mandíbula, lo que mejora el triturado.

Previamente se producirá una separación de piezas metálicas, muy útil debido al gran valor de venta en el mercado de esta fracción de residuos. Así los metales abandonarán el proceso gracias a su tratamiento, continuando sólo el flujo de residuos que es árido reciclado en potencia.

Tabla 5.44: Trabajo en conjunto de la trituradora por impacto y la criba vibratoria sobre el lote del mezclado genérico de los RCD de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia

		Entrada a trituradora		Salida trituradora*		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	%	Ton	Tamaño de partícula	%	Ton
17 01 01	Hormigón	Escombros> 40 mm	1.950,75	0	0,00	Grueso > 4mm	43	986,85
		40 mm >Promedio > 4 mm	229,50	43	986,85	4mm > Fino > 0,063	34,2	784,89
		< 4 mm	114,75	57,0	1.308,15	2mm > Todas en una	22,8	523,26
17 01 01	Hormigón armado	Escombros >40 mm	1.330,43	-	0,00		-	0,00
17 01 01	Hormigón (roto)	Escombros >40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	657,90
		40 mm >Promedio > 4 mm	229,50	43	657,90	4mm > Fino > 0,063	34,2	523,26
		< 4 mm	76,50	57,0	872,10	2mm > Todas en una	22,8	348,84
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Piezas largas	4,47	0	0,00	Grueso > 4mm	77,52	92,98
		20cm >Promedio > 4 mm	6,39	77,52	92,98	4mm > Fino > 0,063	20,27	24,31
		< 4 mm	2,66	22,5	26,97	2mm > Todas en una	2,22	2,66
17 01 02	Ladrillos	Escombros> 40 mm	7.267,50	0	0,00	Grueso > 4mm	43	5.208,38
		40 mm >Promedio > 4 mm	3.028,13	43	5.208,38	4mm > Fino > 0,063	34,2	4.142,48
		< 4 mm	1.816,88	57,0	6.904,13	2mm > Todas en una	22,8	2.761,65
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Escombros> 40 mm	3.060,00	0	0,00	Grueso > 4mm	43	2.193,00
		40 mm >Promedio > 4 mm	1.275,00	43	2.193,00	4mm > Fino > 0,063	34,2	1.744,20
		< 4 mm	765,00	57,0	2.907,00	2mm > Todas en una	22,8	1.162,80
Arena, grava y otros agregados		Escombros> 40 mm	0,00	0	0,00	Grueso > 4mm	40	600,00
	40 mm >Promedio > 4 mm	600,00	40	600,00	4mm > Fino > 0,063	20	300,00	
	< 4 mm	900,00	60,0	900,00	2mm > Todas en una	40	600,00	
17 05 04	Piedras y tierra	Escombros> 40 mm	637,50	0	0,00	Grueso > 4mm	75	1.195,31
		40 mm >Promedio > 4 mm	796,88	75	1.195,31	4mm > Fino > 0,063	20	318,75
		< 4 mm	159,38	25,0	398,44	2mm > Todas en una	5	79,69
17 03 02	Mezcla bituminosa	Escombros> 20 cm	1.190,00	0	0,00	Grueso > 4mm	71,11	1.632,00
		20cm > Promedio> 4 mm	680,00	71,11	1.632,00	4mm > Fino > 0,063	25,19	578,00
		< 4 mm	425,00	28,9	663,00	2mm > Todas en una	3,7	85,00
17 08 02	Yeso de construcción	Escombros > 20 cm	47,60	0	0,00	Grueso > 4mm	54,29	51,68
		20cm > Promedio> 4 mm	13,60	54,29	51,68	4mm > Fino > 0,063	38,57	36,72
		< 4 mm	34,00	45,7	43,52	2mm > Todas en una	7,14	6,80
17 02 01	Madera	Piezas mas largas	761,60	0	0,00	Grueso > 4mm	75,94	1.017,28
		20cm > Promedio > 4 mm	408,00	75,94	1.017,28	4mm > Fino > 0,063	21,52	288,32
		< 4 mm	170,00	24,06	322,32	2mm > Todas en una	2,54	34,00
17 02 02	Vidrio	Piezas largas	85,00	0	0,00	Grueso > 4mm	65,71	195,50
		20cm > Promedio > 4 mm	127,50	65,71	195,50	4mm > Fino > 0,063	28,57	85,00
		< 4 mm	85,00	34,29	102,00	2mm > Todas en una	5,71	17,00
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Piezas largas	132,45	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	214,08
		20cm > Promedio > 4 mm	108,12	69,47	214,08	4mm > Fino > 0,063	26,14	80,55
		< 4 mm	67,58	30,53	94,06	2mm > Todas en una	4,39	13,52
	PVC	Piezas largas	117,45	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	189,84
		20cm > Promedio > 4 mm	95,88	69,47	189,84	4mm > Fino > 0,063	26,14	71,43
		< 4 mm	59,93	30,53	83,42	2mm > Todas en una	4,39	11,99
17 06 04	Material aislante	Piezas largas	999,60	0	0,00	Grueso > 4mm	76,48	2.584,68
		20cm > Promedio > 4 mm	1.785,00	76,48	2.584,68	4mm > Fino > 0,063	20	675,92
		< 4 mm	595,00	23,52	794,92	2mm > Todas en una	3,52	119,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Piezas largas	50,40	0	0,00	Grueso > 4mm	73,70	112,32
		20cm > Promedio > 4 mm	72,00	73,70	112,32	4mm > Fino > 0,063	22,36	34,08
		< 4 mm	30,00	26,30	40,08	2mm > Todas en una	3,94	6,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Piezas largas	459,69	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	743,01
		20cm > Promedio > 4 mm	375,26	69,47	743,01	4mm > Fino > 0,063	26,14	279,57
		< 4 mm	234,54	30,53	326,47	2mm > Todas en una	4,39	46,91
	Carton	Piezas largas	193,40	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	312,59
		20cm > Promedio > 4 mm	157,87	69,47	312,59	4mm > Fino > 0,063	26,14	117,62
		< 4 mm	98,67	30,53	137,35	2mm > Todas en una	4,39	19,73
Films de polietileno	Piezas largas	130,91	0	0,00	Grueso > 4mm	69,47	211,60	
	20cm > Promedio > 4 mm	106,87	69,47	211,60	4mm > Fino > 0,063	26,14	79,62	
	< 4 mm	66,79	30,53	92,98	2mm > Todas en una	4,39	13,36	
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Piezas largas	0,07	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	0,16
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	73,7	0,16	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,05
		< 4 mm	0,04	26,3	0,06	2mm > Todas en una	3,94	0,01
17 04 02	Aluminio	Piezas largas	0,07	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	0,16
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	73,7	0,16	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,05
		< 4 mm	0,04	26,3	0,06	2mm > Todas en una	3,94	0,01
17 04 03	Plomo	Piezas largas	2,24	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	4,99
		20cm > Promedio > 4 mm	3,20	73,7	4,99	4mm > Fino > 0,063	22,36	1,51
		< 4 mm	1,33	26,3	1,78	2mm > Todas en una	3,94	0,27
17 04 04	Zinc	Piezas largas	0,07	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	0,16
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	73,7	0,16	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,05
		< 4 mm	0,04	26,3	0,06	2mm > Todas en una	3,94	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Piezas largas	84,93	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	189,28
		20cm > Promedio > 4 mm	121,34	73,7	189,28	4mm > Fino > 0,063	22,36	57,43
		< 4 mm	50,56	26,3	67,54	2mm > Todas en una	3,94	10,11
17 04 06	Estaño	Piezas largas	1,77	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	3,94
		20cm > Promedio > 4 mm	2,52	73,7	3,94	4mm > Fino > 0,063	22,36	1,19
		< 4 mm	1,05	26,3	1,41	2mm > Todas en una	3,94	0,21
17 04 11	Cables	Piezas largas	0,07	0	0,00	Grueso > 4mm	73,7	0,16
		20cm > Promedio > 4 mm	0,10	73,7	0,16	4mm > Fino > 0,063	22,36	0,05
		< 4 mm	0,04	26,3	0,06	2mm > Todas en una	3,94	0,01
TOTAL			34.485,68		34.485,68			34.485,68

Se destaca en primer lugar que como se ha comentado, en este tipo de planta no se hace un tratamiento del hormigón manual, es por que como se refleja ahora, en esta la maquinaria está especializada para triturar el componente.

Si se comparan los porcentajes de salida de la trituradora por impacto y los de la criba vibratoria, con los respectivos porcentajes de salida de la trituradora de mandíbula y la criba rotatoria de la planta básica, para las mismas corrientes de residuos, se puede verificar que en muchos casos son idénticos y en otros prácticamente iguales. Aunque en un principio se pueda deducir que los diferentes tipos de maquinarias establecen porcentajes de salida diferentes, las plantas de reciclaje establecen las mismas distribuciones de tamaño de salida de los materiales que conforman el producto reciclado final, por lo que es lógico que estos porcentajes de salida sean idénticos. Por consiguiente, la diferencia entre las maquinarias viene dada por el tiempo de residencia de los residuos y la potencia requerida para el mismo tipo de tratamiento.

En esta etapa del proceso, el balance de masas resulta en que 84.862 toneladas de residuos siguen el proceso de planta con destino a la separación magnética.

- 9.956 toneladas del lote de residuos segregados.
- 40.420 toneladas para el lote del mezclado pétreo.
- 34.486 toneladas correspondientes al mezclado genérico

#### **5.4.5. Separación magnética**

En este punto se realiza la separación magnética a través del imán en banda mediante la cinta transportadora.

Ahora, las 84.862 toneladas que siguen el proceso pasan a una nueva etapa. Se colocan sobre la cinta transportadora y van pasando con un imán colocado transversal o longitudinalmente, que va retirando partes metálicas, atraídas por las fuerzas magnéticas abandonan el proceso para ser almacenadas aparte y posteriormente vendidas. Se considera que se retira un 70% de la corriente de “Hierro y acero” y de “Acero roto”, que son las únicas con contenido metálico.

Se consiguen separar:

- 39,51 toneladas de segregados

- 141 toneladas de pétreos
- 264 toneladas de RCD

#### **5.4.6. Separación metálica mediante las corrientes Foucault**

En esta etapa nuevamente se hace uso de las propiedades metálicas de los materiales restantes. Aquí se utiliza un rotor magnético con polaridad alterna, que gira rápidamente dentro de un tambor no metálico accionado por la cinta transportadora. El campo magnético alterno que se origina crea corrientes parasitas en las partículas de metales no férreos repeliéndolos hacia fuera del transportador. Mientras que la corriente principal sigue el transcurso de la cinta transportadora, los metales no férreos se destinan a una caja separadora para su clasificado.

Las únicas corrientes de residuos metálicas son la del “Cobre, bronce y latón” y “Aluminio”, ambas contenidas en el lote del mezclado genérico de los RCD's. De la cantidad total de estas corrientes, se considera que un 70% es extraído por este método.

Aproximadamente 0,29 toneladas se retiran así.

#### **5.4.7. Separación de las fracciones de residuos en la criba vibratoria**

En este momento los materiales pasan por un nuevo cribado, para una última separación de la parte gruesa con el resto.

Funciona de la misma forma que se ha descrito en las anteriores, así los residuos se van separando a través de las mallas por tamaños. La parte gruesa, que es la más valiosa, sigue el proceso para mejorar al máximo su acabado, mientras que con la parte de finas y todas en una, se introduce a un tamizado y acaba ahí su proceso. Gracias a este último paso es cierto que las fracciones finas y todas en una, a pesar de ser de peor calidad que las gruesas, consiguen un mejor acabado que en la planta básica, teniendo también en cuenta que todo el resto del proceso también es mejor, debido al mantenimiento de la separación por lotes y por supuesto a la maquinaria más minuciosa.

Tabla 5.45: Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes de residuos segregadas de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada criba vibratoria		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	464,40	100	464,40	0,00
		4mm > Fino > 0,063	369,36	100	0,00	369,36
		2mm > Todas en una	246,24	100	0,00	246,24
17 01 01	Hormigón (roto)	Grueso > 4mm	309,60	100	309,60	0,00
		4mm > Fino > 0,063	246,24	100	0,00	246,24
		2mm > Todas en una	164,16	100	0,00	164,16
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	13,13	100	13,13	0,00
		4mm > Fino > 0,063	3,43	100	0,00	3,43
		2mm > Todas en una	0,38	100	0,00	0,38
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	2.451,00	100	2.451,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1.949,40	100	0,00	1.949,40
		2mm > Todas en una	1.299,60	100	0,00	1.299,60
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	1.032,00	100	1.032,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	820,80	100	0,00	820,80
		2mm > Todas en una	547,20	100	0,00	547,20
TOTAL			9.916,93		4.270,13	5.646,81

Tabla 5.46: Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes de residuos pétreas de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada criba vibratoria		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	1.644,75	100	1.644,75	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1.308,15	100	0,00	1.308,15
		2mm > Todas en una	872,10	100	0,00	872,10
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	1.096,50	100	1.096,50	0,00
		4mm > Fino > 0,063	872,10	100	0,00	872,10
		2mm > Todas en una	581,40	100	0,00	581,40
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	46,77	100	46,77	0,00
		4mm > Fino > 0,063	12,23	100	0,00	12,23
		2mm > Todas en una	1,34	100	0,00	1,34
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	8.680,63	100	8.680,63	0,00
		4mm > Fino > 0,063	6.904,13	100	0,00	6.904,13
		2mm > Todas en una	4.602,75	100	0,00	4.602,75
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	3.655,00	100	3.655,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	2.907,00	100	0,00	2.907,00
		2mm > Todas en una	1.938,00	100	0,00	1.938,00
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	1.000,00	100	1.000,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	500,00	100	0,00	500,00
		2mm > Todas en una	1.000,00	100	0,00	1.000,00
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	1.992,19	100	1.992,19	0,00
		4mm > Fino > 0,063	531,25	100	0,00	531,25
		2mm > Todas en una	132,81	100	0,00	132,81
TOTAL			40.279,09		18.115,83	22.163,25

Tabla 5.47: Separación de fracciones en criba vibratoria sobre las corrientes de RCD's de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada criba vibratoria		Salida criba		
CER	Descripción	Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton	Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	986,85	100	986,85	0,00
		4mm > Fino > 0,063	784,89	100	0,00	784,89
		2mm > Todas en una	523,26	100	0,00	523,26
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	657,90	100	657,90	0,00
		4mm > Fino > 0,063	523,26	100	0,00	523,26
		2mm > Todas en una	348,84	100	0,00	348,84
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	27,89	100	27,89	0,00
		4mm > Fino > 0,063	7,29	100	0,00	7,29
		2mm > Todas en una	0,80	100	0,00	0,80
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	5.208,38	100	5.208,38	0,00
		4mm > Fino > 0,063	4.142,48	100	0,00	4.142,48
		2mm > Todas en una	2.761,65	100	0,00	2.761,65
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	2.193,00	100	2.193,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1.744,20	100	0,00	1.744,20
		2mm > Todas en una	1.162,80	100	0,00	1.162,80
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	600,00	100	600,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	300,00	100	0,00	300,00
		2mm > Todas en una	600,00	100	0,00	600,00
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	1.195,31	100	1.195,31	0,00
		4mm > Fino > 0,063	318,75	100	0,00	318,75
		2mm > Todas en una	79,69	100	0,00	79,69
17 03 02	Mezcla bituminosa	Grueso > 4mm	1.632,00	100	1.632,00	0,00
		4mm > Fino > 0,063	578,00	100	0,00	578,00
		2mm > Todas en una	85,00	100	0,00	85,00
17 08 02	Yeso de construcción	Grueso > 4mm	51,68	100	51,68	0,00
		4mm > Fino > 0,063	36,72	100	0,00	17,86
		2mm > Todas en una	6,80	100	0,00	3,31
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	1.017,28	100	1.017,28	0,00
		4mm > Fino > 0,063	288,32	100	0,00	288,32
		2mm > Todas en una	34,00	100	0,00	34,00
17 02 02	Vidrio	Grueso > 4mm	195,50	100	195,50	0,00
		4mm > Fino > 0,063	85,00	100	0,00	85,00
		2mm > Todas en una	17,00	100	0,00	17,00
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	Grueso > 4mm	214,08	100	214,08	0,00
		4mm > Fino > 0,063	80,55	100	0,00	80,55
		2mm > Todas en una	13,52	100	0,00	13,52
	PVC	Grueso > 4mm	189,84	100	189,84	0,00
		4mm > Fino > 0,063	71,43	100	0,00	71,43
		2mm > Todas en una	11,99	100	0,00	11,99
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	2.584,68	100	2.584,68	0,00
		4mm > Fino > 0,063	675,92	100	0,00	675,92
		2mm > Todas en una	119,00	100	0,00	119,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	112,32	100	112,32	0,00
		4mm > Fino > 0,063	34,08	100	0,00	34,08
		2mm > Todas en una	6,00	100	0,00	6,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	Grueso > 4mm	743,01	100	743,01	0,00
		4mm > Fino > 0,063	279,57	100	0,00	279,57
		2mm > Todas en una	46,91	100	0,00	46,91
	Cartón	Grueso > 4mm	312,59	100	312,59	0,00
		4mm > Fino > 0,063	117,62	100	0,00	117,62
		2mm > Todas en una	19,73	100	0,00	19,73
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	211,60	100	211,60	0,00
		4mm > Fino > 0,063	79,62	100	0,00	79,62
		2mm > Todas en una	13,36	100	0,00	13,36
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,05	100	0,05	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,01	100	0,00	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	100	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,05	100	0,05	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,01	100	0,00	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	100	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	4,99	100	4,99	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1,51	100	0,00	1,51
		2mm > Todas en una	0,27	100	0,00	0,27
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,16	100	0,16	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,05	100	0,00	0,05
		2mm > Todas en una	0,01	100	0,00	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	56,79	100	56,79	0,00
		4mm > Fino > 0,063	17,23	100	0,00	17,23
		2mm > Todas en una	3,03	100	0,00	3,03
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	3,94	100	3,94	0,00
		4mm > Fino > 0,063	1,19	100	0,00	1,19
		2mm > Todas en una	0,21	100	0,00	0,21
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,16	100	0,16	0,00
		4mm > Fino > 0,063	0,05	100	0,00	0,05
		2mm > Todas en una	0,01	100	0,00	0,01
TOTAL			34.221,64		18.200,03	15.999,26

Se ve que efectivamente la fracción gruesa queda completamente separada de la fina y de las todas en una. Esto es aproximadamente un 47% de fracción gruesa que continúa, y el restante (53%), de finas y todas en una, que pasa a la espiral.

Como en todos los datos anteriores, una vez más las cifras nos muestran en el lote pétreo un comportamiento similar al proceso de triturado, con porcentajes similares a los segregados, y en los RCD's una mayor cantidad de gruesos, por la gran ductilidad que permite buen comportamiento en rotura.

Así, nos encontramos con:

- Fracción fina y todas en una de la espiral:
  - a) 5.647 toneladas de segregados
  - b) 22.163 toneladas de pétreos
  - c) 15.999 de RCD's
- Fracción gruesa hacia el barrido de viento:
  - a) 4.270 toneladas de segregados
  - b) 18.116 toneladas de pétreos
  - c) 18.200 toneladas de RCD's

#### **5.4.8. Separación por densidad en la espiral**

En este apartado los residuos, concretamente las fracciones fina y todas en una, se separan mediante la espiral, que se sirve de la propiedad de la densidad para que esto se produzca. El objetivo principal de la espiral consiste en separar los residuos no pétreos de los pétreos, consiguiendo limpiar la fracción fina de los materiales que la proporcionan menor calidad. Para ello, se hace uso de la densidad de los materiales, mojando la mezcla de residuos que se desplaza por la trayectoria de la espiral y permitiendo que la fuerza centrífuga separe la mezcla en dos corrientes. Una corriente densa, con los materiales pesados que se desplaza por el lado del canal próximo al eje de la torre, y otra corriente con los materiales menos pesados y gran parte de agua, que forma una especie de lodo y se desplaza pegada a la pared del canal de la espiral exterior afectado por la fuerza centrífuga. De esta forma, se consigue separar los residuos pétreos (alta densidad) de los no pétreos.

Se considera que aquellos materiales con una densidad mayor a los 2000 kg/ son separados en un 90% del resto que conforman el lodo.

De los tres lotes de residuos que llegan a esta última etapa de separación, lógicamente el único que recibe tratamiento es el del mezclado genérico de los RCD's. Los segregados, al tener los residuos separados entre sí, resultaría inútil volver a mezclarlos en la espiral. Y por lo que al lote del mezclado pétreo se refiere, al estar la mezcla compuesta únicamente por residuos pétreos, el tratamiento resultaría ineficaz y material se mojaría en vano.

Como se ve en la tabla 5.48, tenemos dos corrientes de salida:

- Una corriente de "lodo", que son los residuos de pétreos de baja densidad, que se almacena para su vertido, 5.098 toneladas.
- Otra corriente húmeda de alta densidad, de 10.923 toneladas, que se aprovecha para la elaboración de cerámicos de alta calidad.

Respecto a los pétreos y segregados, tampoco reciben tratamiento y salen respectivamente, 22.163 y 5.647 toneladas, destinadas a cerámicos de calidad media y áridos de hormigón de alta calidad.

De esta forma se ha conseguido el tratamiento de las fracciones finas y toda en uno, que evidentemente no disponen de la calidad de la fracción gruesa, pero de esta forma se explota al máximo su capacidad y así se obtienen dos corrientes de salida, la de alta densidad con mayor calidad, y el lodo.

En este punto las fracciones finas y todas en uno ya abandonan el proceso y las partes de la planta descritas a continuación, como en el caso de las otras dos plantas, se centran en la fracción gruesa simplemente, obteniéndose así también sus propias corrientes de salida.



Tabla 5.48: Separación en la espiral de las corrientes no pétreas de las pétreas pertenecientes al mezclado genérico de los RCD de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada espiral			Salida espiral			
		Tamaño de partícula	Cantidad	Densidad	Corriente alta densidad	Corriente baja densidad(lodo)		
CER	Descripción	mm	Ton	(kg/m3)	% Separación	Ton	%Separacion	Ton
17 01 01	Hormigón	4mm > Fino > 0,063	784,89	2500	90	706,40	10	78,49
		2mm > Todas en una	523,26	2500	90	470,93	10	52,33
17 01 01	Hormigón(roto)	4mm > Fino > 0,063	523,26	2500	90	470,93	10	52,33
		2mm > Todas en una	348,84	2500	90	313,96	10	34,88
17 01 01	Hierro y acero(roto)	4mm > Fino > 0,063	7,29	1800	0	0,00	100	7,29
		2mm > Todas en una	0,80	1800	0	0,00	100	0,80
17 01 02	Ladrillos	4mm > Fino > 0,063	4.142,48	2200	90	3.728,23	10	414,25
		2mm > Todas en una	2.761,65	2200	90	2.485,49	10	276,17
17 01 03	Azulejos y cerámicos	4mm > Fino > 0,063	1.744,20	2200	90	1.569,78	10	174,42
		2mm > Todas en una	1.162,80	2200	90	1.046,52	10	116,28
Arena, grava y otros agregados		4mm > Fino > 0,063	300,00	2000	0	0,00	100	300,00
		2mm > Todas en una	600,00	2000	0	0,00	100	600,00
17 05 04	Piedras y tierra	4mm > Fino > 0,063	318,75	1400	0	0,00	100	318,75
		2mm > Todas en una	79,69	1400	0	0,00	100	79,69
17 03 02	Mezcla bituminosa	4mm > Fino > 0,063	578,00	1000	0	0,00	100	578,00
		2mm > Todas en una	85,00	1000	0	0,00	100	85,00
17 08 02	Yeso de construcción	4mm > Fino > 0,063	36,72	2400	90	33,05	10	3,67
		2mm > Todas en una	6,80	2400	90	6,12	10	0,68
17 02 01	Madera	4mm > Fino > 0,063	288,32	800	0	0,00	100	288,32
		2mm > Todas en una	34,00	800	0	0,00	100	34,00
17 02 02	Vidrio	4mm > Fino > 0,063	85,00	2500	90	76,50	10	8,50
		2mm > Todas en una	17,00	2500	90	15,30	10	1,70
17 02 03 (Plástico)	No film,no pvc	4mm > Fino > 0,063	80,55	1200	0	0,00	100	80,55
		2mm > Todas en una	13,52	1200	0	0,00	100	13,52
	PVC	4mm > Fino > 0,063	71,43	1400	0	0,00	100	71,43
		2mm > Todas en una	11,99	1400	0	0,00	100	11,99
17 06 04	Material aislante	4mm > Fino > 0,063	675,92	600	0	0,00	100	675,92
		2mm > Todas en una	119,00	600	0	0,00	100	119,00
15 01 01	Empaques de papel y cartón	4mm > Fino > 0,063	34,08	900	0	0,00	100	34,08
		2mm > Todas en una	6,00	900	0	0,00	100	6,00
15 01 06 (Embalaje mixto)	Tablas de madera	4mm > Fino > 0,063	279,57	800	0	0,00	100	279,57
		2mm > Todas en una	46,91	800	0	0,00	100	46,91
	Cartón	4mm > Fino > 0,063	117,62	900	0	0,00	100	117,62
		2mm > Todas en una	19,73	900	0	0,00	100	19,73
	Films de polietileno	4mm > Fino > 0,063	79,62	950	0	0,00	100	79,62
		2mm > Todas en una	13,36	950	0	0,00	100	13,36
17 04 01	Cobre, bronce, latón	4mm > Fino > 0,063	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
17 04 02	Aluminio	4mm > Fino > 0,063	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
17 04 03	Plomo	4mm > Fino > 0,063	1,51	1800	0	0,00	100	1,51
		2mm > Todas en una	0,27	1800	0	0,00	100	0,27
17 04 04	Zinc	4mm > Fino > 0,063	0,05	1800	0	0,00	100	0,05
		2mm > Todas en una	0,01	1800	0	0,00	100	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	4mm > Fino > 0,063	17,23	1800	0	0,00	100	17,23
		2mm > Todas en una	3,03	1800	0	0,00	100	3,03
17 04 06	Estaño	4mm > Fino > 0,063	1,19	1800	0	0,00	100	1,19
		2mm > Todas en una	0,21	1800	0	0,00	100	0,21
17 04 11	Cables	4mm > Fino > 0,063	0,05	1800	0	0,00	100	0,05
		2mm > Todas en una	0,00	1800	0	0,00	100	0,00
TOTAL			16.021,61			10.923,21		5.097,21

### 5.4.9. Tamizado por flujo de aire de fracción gruesa

Por otro lado, y una vez separada, la fracción gruesa continúa el trayecto, pero no lo hacen las tres corrientes. Sólo el mezclado genérico de los RCD's entra al tamizado por flujo de aire, ya que es el único que contiene una parte alta de residuos de baja densidad, que son los que se quieren separar, y por ello el único que resulta efectivo, además sólo rinde con partículas mayores de 4mm y condiciones de absoluto secado.

Se separa un 80% a través de ventiladores que soplan aire y separan estos residuos como madera, plástico, papel y cartón, cuyas partículas son susceptibles a quedarse algo atrapadas entre sí y por ello no ser una separación perfecta.

Tabla 5.49: Separación por barrido de viento de las corrientes de residuos de baja densidad de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Tamizado por flujo de aire			
		Tamaño de partícula	Ton	% Separación	Ton
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	1.017,28	80	813,82
17 02 03	No film,no pvc	Grueso > 4mm	214,08	80	171,26
(Plástico)	PVC	Grueso > 4mm	189,84	80	151,87
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	2.584,68	80	2.067,74
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	112,32	80	89,86
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	743,01	80	594,41
(Embalaje mixto)	Cartón	Grueso > 4mm	312,59	80	250,07
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	211,60	80	169,28
<b>TOTAL</b>			5.385,40		4.308,32

Por ello, de las 5.385 toneladas del mezclado genérico de los RCD's gruesos que provienen de la criba, aproximadamente 4.308 son extraídas. Las restantes continúan en la sacudidora de densidad, junto con el lote de residuos pétreos.

### 5.4.10. Separación por densidad con la sacudidora por humedad

Para seguir depurando la fracción gruesa se vuelve a hacer uso de la densidad de los materiales, esta vez mediante la sacudidora de humedad. Los segregados en este

proceso siguen sin tener cabida, ya que teniéndolos separados y clasificados, no tiene sentido mezclarlos.

Este proceso se realiza en dos fases diferenciadas, la primera en la que se separa el hormigón del resto de materiales que forman la mezcla del lote y se obtienen dos corrientes de salida, una, con el hormigón separado preparado para la segunda fase que consiste en una nueva depuración, y la otra, compuesta principalmente por materiales cerámicos que salen del proceso.

Para esta segunda fase, se requieren condiciones específicas:

Para el separado del hormigón de los cerámicos y yeso, se aplican porcentajes específicos de separado en función de la densidad del material.

- En la separación del hormigón en la primera etapa, los porcentajes de separación aplicados vienen dado según estas condiciones (Weighon, 2004):

$$\text{Si, Densidad material} \leq 2.100 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 5 \%$$

$$\text{Si, } 2.100 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.200 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 10 \%$$

$$\text{Si, } 2.200 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.300 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 40 \%$$

$$\text{Si, } 2.300 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} < 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 70 \%$$

$$\text{Si, Densidad material} \geq 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 99,4 \%$$

- En la segunda etapa de separación las condiciones varían ligeramente (Schnellert and Mueller, 2010):

$$\text{Si, Densidad material} \leq 2.200 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 5 \%$$

$$\text{Si, } 2.200 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.300 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 10 \%$$

$$\text{Si, } 2.300 \text{ kg/m}^3 < \text{Densidad material} \leq 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 27,4 \%$$

$$\text{Si, Densidad material} > 2.400 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \% \text{Separación} = 90 \%$$

Tabla 5.50: Separación en Sacudidora de humedad de la fracción gruesa del mezclado pétreo de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

		Entrada a Sacudidora			Primera etapa en Sacudidora			Segunda etapa en Sacudidora		
CER	Descripción	Tamaño partícula mmm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m3)	Separación %	Hormigón Ton	Cerámicos Ton	Separación %	Hormigón Ton	Yeso Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	1.644,75	2.500	99,4	1.634,88	9,87	90	1.471,39	163,49
17 01 01	Hormigón (roto)	Grueso > 4mm	1.096,50	2.500	99,4	1.089,92	6,58	90	980,93	108,99
17 01 01	Hierro y acero (roto)	Grueso > 4mm	46,77	1.800	5	2,34	44,43	5	0,12	2,22
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	8.680,63	2.200	10	868,06	7.812,56	5	43,40	824,66
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	3.655,00	2.200	10	365,50	3.289,50	5	18,28	347,23
Arena, grava y otros agregados		Grueso > 4mm	1.000,00	2.000	5	50,00	950,00	5	2,50	47,50
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	1.992,19	1.400	5	99,61	1.892,58	5	4,98	94,63
<b>TOTAL</b>			18.115,83			4.110,31	14.005,52		2.521,60	1.588,72

Tabla 5.51: Separación en Sacudidora de humedad de la fracción gruesa del mezclado genérico de los RCD's de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

CER	Descripción	Entrada a Sacudidora			Primera etapa en Sacudidora			Segunda etapa en Sacudidora		
		Tamaño partícula mm	Cantidad Ton	Densidad (kg/m3)	Separación %	Hormigón Ton	Cerámicos Ton	Separación %	Hormigón Ton	Yeso Ton
17 01 01	Hormigón	Grueso > 4mm	986,85	2.500	99,4	980,93	5,92	90	882,84	98,09
17 01 01	Hormigón(roto)	Grueso > 4mm	657,90	2.500	99,4	653,95	3,95	90	588,56	65,40
17 01 01	Hierro y acero(roto)	Grueso > 4mm	27,89	1.800	5	1,39	26,50	5	0,07	1,32
17 01 02	Ladrillos	Grueso > 4mm	5.208,38	2.200	10	520,84	4.687,54	5	26,04	494,80
17 01 03	Azulejos y cerámicos	Grueso > 4mm	2.193,00	2.200	10	219,30	1.973,70	5	10,97	208,34
	Arena, grava y otros agregados	Grueso > 4mm	600,00	2.000	5	30,00	570,00	5	1,50	28,50
17 05 04	Piedras y tierra	Grueso > 4mm	1.195,31	1.400	5	59,77	1.135,55	5	2,99	56,78
17 03 02	Mezcla bituminosa	Grueso > 4mm	1.632,00	1.500	5	81,60	1.550,40	5	4,08	77,52
17 08 02	Yeso de construcción	Grueso > 4mm	51,68	2.400	99,4	51,37	0,31	27,4	14,08	37,29
17 02 01	Madera	Grueso > 4mm	203,46	800	5	10,17	193,28	5	0,51	9,66
17 02 02	Vidrio	Grueso > 4mm	195,50	2.500	99,4	194,33	1,17	90	174,89	19,43
17 02 03	No film,no pvc	Grueso > 4mm	42,82	1.200	5	2,14	40,67	5	0,11	2,03
(Plástico)	PVC	Grueso > 4mm	37,97	1.400	5	1,90	36,07	5	0,09	1,80
17 06 04	Material aislante	Grueso > 4mm	516,94	600	5	25,85	491,09	5	1,29	24,55
15 01 01	Empaques de papel y cartón	Grueso > 4mm	22,46	500	5	1,12	21,34	5	0,06	1,07
15 01 06	Tablas de madera	Grueso > 4mm	148,60	800	5	7,43	141,17	5	0,37	7,06
(Embalaje mixto)	Cartón	Grueso > 4mm	62,52	700	5	3,13	59,39	5	0,16	2,97
	Films de polietileno	Grueso > 4mm	42,32	950	5	2,12	40,20	5	0,11	2,01
17 04 01	Cobre, bronce, latón	Grueso > 4mm	0,05	1.800	5	0,00	0,04	5	0,00	0,00
17 04 02	Aluminio	Grueso > 4mm	0,05	1.800	5	0,00	0,04	5	0,00	0,00
17 04 03	Plomo	Grueso > 4mm	4,99	1.800	5	0,25	4,74	5	0,01	0,24
17 04 04	Zinc	Grueso > 4mm	0,16	1.800	5	0,01	0,15	5	0,00	0,01
17 04 05	Hierro y Acero	Grueso > 4mm	56,79	1.800	5	2,84	53,95	5	0,14	2,70
17 04 06	Estaño	Grueso > 4mm	3,94	1.800	5	0,20	3,74	5	0,01	0,19
17 04 11	Cables	Grueso > 4mm	0,16	1.800	5	0,01	0,15	5	0,00	0,01
<b>TOTAL</b>			13.891,71			2.850,64	11.041,07		1.708,87	1.141,77

Como se refleja en las tablas, se destaca en primer lugar que en la primera etapa se consiguen separar aproximadamente 6.880 toneladas de residuos que forman una proporción de materiales cerámicos, que se destinará a la elaboración de áridos cerámicos de calidad media.

Por otro lado, el hormigón que se reintroduce en la sacudidora realiza la segunda etapa de depuración. En esta etapa, se repite el proceso.

#### 5.4.11. Resultados generales de la planta avanzada

Una vez más como en las otras dos plantas se muestran finalmente los resultados de la planta en conjunto, tanto en la figura 5.14, como de forma más detallada en la tabla 5.52.

Se comprueba que la planta avanzada es la que más es capaz de diferenciar el árido reciclado producido y tratarlo correctamente, de ahí su aumento de calidad.

Tabla 5.52: Resumen general de las salidas de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADA			SALIDA							
Lote	Ton	Material	Ton	Composición	Ton	Segregado	Contenido (Ton)			
							Pétreo mezclado	RCD mezclado		
Segregado	13.367,61	Yeso	104,80	Yeso	104,80	30,00	0	74,80		
		Madera/tablas mad	3.936,27	Madera	2.660,40	600,00	0	2.060,40		
				Tablas de madera	1.275,87	0	0	1.275,87		
		Plastico	1.281,95	Otro plástico	508,01	140,40	0	367,61		
				Plástico PVC	410,59	84,60	0	325,99		
				Films de polietileno	363,35	0	0	363,35		
		Papel/Cartón	684,37	Cartón	536,77	0	0	536,77		
				Empaques de papel y carton	147,60	0	0	147,60		
		Árido reciclado de hormigón	6.047,40	Gruesos	Calidad alta	787,13	787,13	0	0	
					Calidad media	2.521,60	0	2.521,60	0	
Calidad baja	1.708,87				0	0	1.708,87			
Pétreo mezclado	40.440,49	Árido reciclados cerámicos	66.233,05	Finos	Calidad alta	1.029,81	1.029,81	0	0	
					Calidad alta	3.483	3.483	0	0	
					Gruesos	Calidad media	14.005,52	0	14.005,52	0
				Calidad baja	11.041,07	0	0	11.041,07		
				Finos	Calidad alta	4.617,00	4.617,00	0	0	
					Calidad media	22.163,25	0	22.163,25	0	
					Calidad baja	10.923,21	0	0	10.923,21	
				Metales	746,70	Cobre,bronce, latón	0,35	0	0	0,35
						Aluminio	0,35	0	0	0,35
		Plomo	6,56			0	0	6,56		
		Zinc	0,20			0	0	0,20		
		Hierro y acero	733,86			45,67	162,61	<div><div></div></div> 525,57		
		Estaño	5,18			0	0	5,18		
		Mezclado genérico de RCD's	44.565,36	Cables	0,20	0	0	0,20		
				Piedras y tierra	750,00	Piedras y tierra	750,00	750,00	0	0
Material bituminoso	2.705,00			Material bituminoso	2.705,00	750,00	0	1.955,00		
Vidrio	127,50			Vidrio	127,50	0	0	127,50		
Materiales de baja densidad	4.308,32			Materiales de baja densidad	4.308,32	0	0	4.308,32		
Otros residuos	3.620,40			Material aislante	3.620,40	1.050,00	0	<div><div></div></div> 2.570,40		
Lodo	5.097,21			Lodo	5.097,21	0	0	5.097,21		
Yeso con material ligero	2.730,49			Yeso con material ligero	2.730,49	0	1.588,72	1.141,77		
TOTAL	98.373,46	98.373,46	98.373,46	13.367,61	40.441,49	44.565,36				

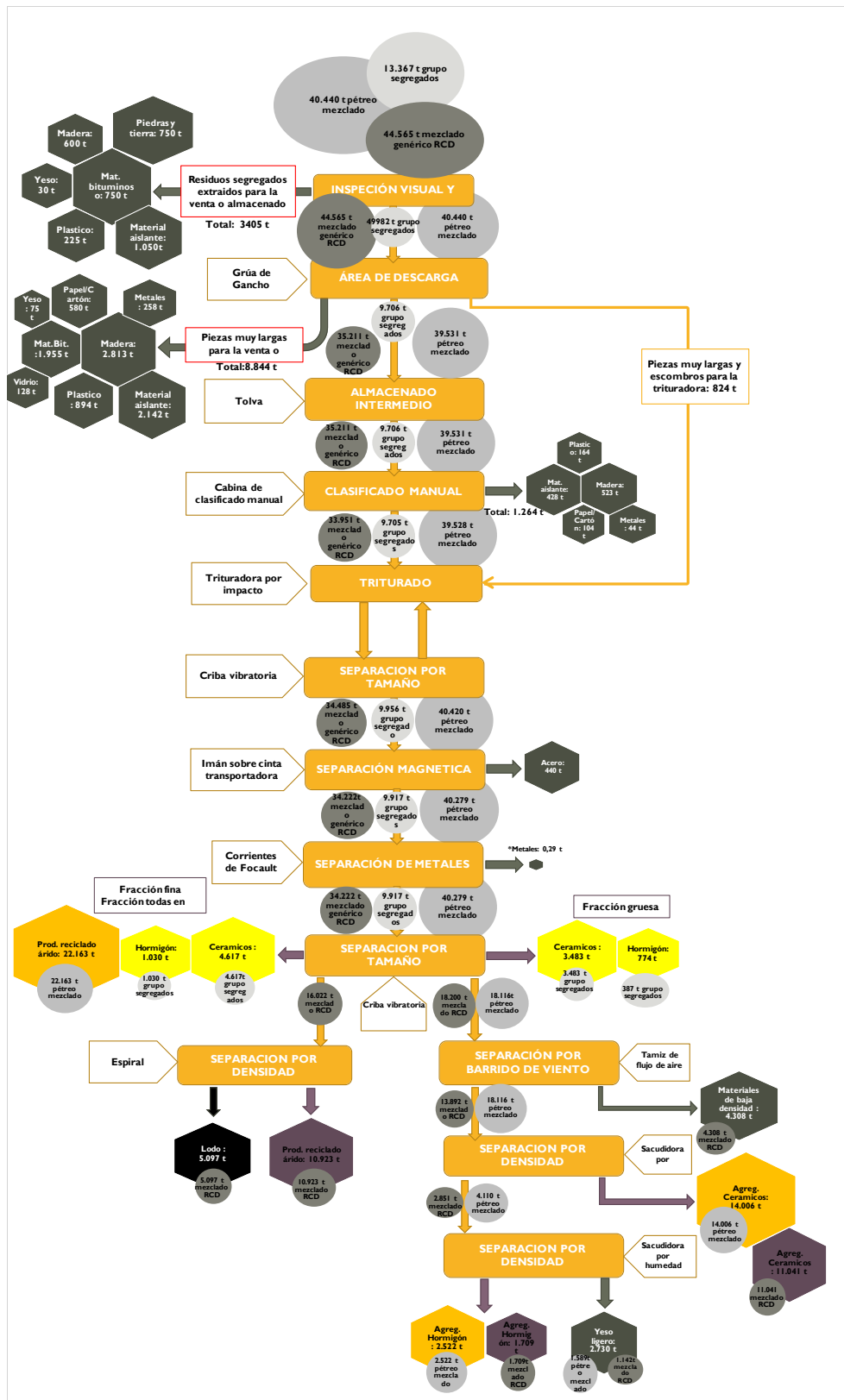


Figura 5.14: Disposición final de la planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

## 5.5. COMPARACIÓN DE SALIDAS EN LAS PLANTAS

A continuación, se muestran los materiales no-pétreos separados durante el proceso de reciclaje, correspondientes a cada una de las cuatro anteriormente explicadas.

Tabla 5.53: Resumen de las corrientes de salida de los materiales no-pétreos de las cuatro plantas.

Fuente: Elaboración propia.

Material	Básica Ton	Intermedia Ton	Desarrollada Ton	Avanzada Ton
Bloques de hormigón armado	3652	3652	3652	-
Yeso	101	101	101	105
Madera/tablas mad	3353	3353	3217	3936
Plastico	1087	1087	1042	1282
Papel/Cartón	554	554	522	684
Metales	568	568	542	747
Piedras y tierra	750	750	750	750
Material bituminoso	2535	2535	2500	2705
Vidrio	128	128	128	128
Materiales de baja densidad	5151	5151	5151	4308
Otros residuos	3365	3365	3192	3620
Lodo	-	-	10272	5097
Yeso con material ligero	-	-	2997	2730

Respecto a estas salidas de las cuatro plantas se observa:

- Con respecto al hormigón, como ya ha sido mencionado, se realiza un tratamiento manual tanto en la planta básica, como en la intermedia, como la avanzada, es por lo que salen bloques de hormigón armado en estos tres casos, pero no en la avanzada.
- Con respecto a yeso, madera y tablas, plástico, papel/cartón y metales, se observa que el tipo que menos cantidad obtiene es la desarrollada. Esto es debido a que no se realiza ese clasificado manual final, ya que, con la adición de maquinaria, se centra en la mejora de más y mejor árido reciclado. Este hecho repercutirá en los ingresos obtenidos en la posterior venta de material recuperado.
- En las corrientes de salida de piedras y tierra, material bituminoso, vidrio, materiales de baja densidad y material aislante (otros residuos), no se ven grandes

modificaciones como es de esperar, ya que son los productos menos valorados y no son destacables por ello en el proceso de reciclado.

- Por último, con respecto al lodo y yeso con material ligero, no se observa salida en la planta básica ni intermedia evidentemente, ya que se carece de espiral, que es la máquina usada para ello.

Tabla 5.54: Resumen de las salidas de áridos reciclados de las cuatro plantas. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de planta	Salidas de árido reciclado		Ton
Planta básica	Árido cerámico mixto	Grueso	34605
		Fino	25964
		Todo en uno	16560
Planta intermedia	Árido cerámico mixto (Grueso)	Baja calidad	13264
		Media calidad	17301
		Alta calidad	4040
	Árido cerámico mixto (Fino)	Baja calidad	10338
		Media calidad	12412
		Alta calidad	3213
	Árido cerámico mixto (Todas en una)	Baja calidad	5698
		Media calidad	8720
		Alta calidad	2142
Planta desarrollada	Árido reciclado	Cerámico (Grueso)	28385
		Hormigón (Grueso)	3635
		mixto (finos y todo)	32287
Planta avanzada	Árido reciclado hormigón	Baja calidad	1709
		Media calidad	2522
		Alta calidad	787
	Árido reciclado cerámico	Baja calidad	11041
		Media calidad	14006
		Alta calidad	3483
	Árido reciclado mixto	Baja calidad	10923
		Media calidad	22163
		Hormigón	1030
		Cerámico	4617

Con respecto al árido reciclado que se obtiene en cada una de las plantas:

- En la básica se consigue árido reciclado mixto ya que efectivamente es el proceso con menos consideraciones de separación y con menor maquinaria. Queda dividido por tamaños: grueso (mayor de 4mm), fino (entre 4mm y 2mm) y todo en uno (menor de 2mm).
- En la planta desarrollada, como ha sido visto, se añade maquinaria con la finalidad de mejorar el árido reciclado de la básica, y se consigue, ya que ahora existe



diferenciación entre el cerámico, hormigón y árido mixto. De la misma forma en la intermedia, pero en su caso a través de la separación por lotes,

- Por último, se observa que la planta avanzada consigue distinguir entre tres tipos de áridos: cerámico, hormigón y mixto, sino que además en cada uno es capaz de diferenciar tres calidades, baja, media y alta. La mejor calidad correspondería al propio cerámico y hormigón.

Teniendo todo en cuenta se observa que la planta avanzada, gracias a su maquinaria y separación por lotes, es capaz de obtener tanto más productos para venta o almacenado como conseguir mayor árido reciclado de distintas calidades diferenciadas y distintos tipos. Sin embargo, para ocasiones en las que sea útil el árido cerámico mixto, la planta básica es interesante, ya que por supuesto cumple con la normativa europea y no es necesario un despliegue tecnológico tan grande como la avanzada. La intermedia y la desarrollada son dos plantas con mejores condiciones que la básica, bien por maquinaria o por separación por lotes.

Tabla 5.55: Suma de las cantidades de las corrientes de salida destinadas a venta o vertedero.

Fuente: Elaboración propia.

		Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
		Ton	Ton	Ton	Ton
VENTA	No-pétreos	8.847	8.847	8.573	10.104
	Áridos	77.129	77.129	64.307	72.280
NO VENTA	Vertedero	12.397	12.397	25.493	15.989
	TOTAL	98.373	98.373	98.373	98.373

A la vista de los resultados se observa:

- Las cantidades de la corriente de no-pétreos destinados a la venta son prácticamente iguales en las tres primeras plantas, sin embargo, la avanzada consigue aumentar esta cifra.
- Con respecto a las cantidades de áridos, se observa que la básica e intermedia son las que más árido consiguen obtener, si bien que hay que considerar que es cierto que las condiciones no son las mismas, ya que no siguen los mismos criterios de separación como se ha visto.
- La avanzada y la desarrollada son las que más corriente destinan a vertedero.

## 6. DISCUSIÓN

Finalmente, este apartado del trabajo tratará de evaluar el desempeño de una planta básica, intermedia, desarrollada y avanzada. Se trata de hacerlo objetivamente y por ello, son necesarios criterios en función de la calidad y la cantidad en la que las distintas plantas consiguen recuperar materiales y generar producto reciclado, así como el precio que supone la producción de estos y los posibles ingresos que supondría su venta. Estos son criterios técnicos, medioambientales y económicos respectivamente.

En primer lugar, se evaluará la capacidad de recuperación de residuos de la planta y de generación de áridos reciclados, y después, la calidad con la que volvería al mercado ese árido ya reciclado. Además, se tratará la parte económica, como ha sido antes mencionado, será comentando los ingresos por la venta, que serán estudiados de forma aproximada y como referencia. Al final, se contextualizará todo ello en nuestro entorno, en Cantabria, más concretamente en el área de Santander. Quedando así ejemplificado para casos de plantas reales, en los que sería quizá interesante poner en marcha este proyecto. De esta forma, también se hará un estudio que consiga reflejar en términos generales los costes que supondría cada tipo de planta, teniendo en cuenta la relatividad de estos resultados, debido a su constante variación.

### 6.1. CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN/RECICLAJE DE RECURSOS

Como ha sido explicado, uno de los criterios principales que se ha de tener en cuenta para evaluar una planta de reciclaje es precisamente la capacidad que tiene para recuperar los recursos. Se hará una evaluación para cada tipo de planta, básica, intermedia, desarrollada y avanzada.

La recuperación se trata del porcentaje de los RCD recuperados frente al total de residuos generados entrantes en la planta. Está claro que la parte de materiales directamente extraídos del proceso y almacenados para su venta han de ser considerados en este apartado, ya que no se duda de su potencial para ser usados en futuros procesos, sin embargo, con las salidas de áridos reciclados de la planta sí que surgen discusiones. Según Dosal, E., Viguri, J.R, et. al. se distinguen dos

parámetros distintos: recuperación y reciclaje. Para el reciclaje, los áridos de baja calidad no se incluyen en el porcentaje, puesto que se consideran una pérdida del potencial del reciclado de los materiales originales, valorándose sólo los AR obtenidos a partir de gruesos. Siendo así importante destacar la necesidad de prestar atención a qué se considera residuo recuperado, es decir, a partir de qué calidad se considera contabilizar el recurso como verdaderamente reutilizable. Es entonces cuando surge el concepto de recuperación, ya que en este se tiene en cuenta también los AR generados a partir de las corrientes de finos y todas en una, de baja calidad.

Se consideran áridos de baja calidad:

- En la planta básica, a los áridos cerámicos mixtos elaborados con la fracción fina de salida.
- En la planta intermedia, a las fracciones finas de RCD's del árido cerámico mixto de salida.
- En la planta desarrollada, a los áridos mixtos de cerámicos y hormigones elaborados con la fracción fina de salida.
- En la planta avanzada, a los áridos de hormigón derivados del lote de mezclado genérico de los RCD's y a los áridos reciclados cerámicos elaborados con la fracción fina del mismo lote. Estos son los áridos cerámicos reciclados provenientes de la fracción gruesa del lote mezclado genérico de RCD's.

Además, los residuos que han salido de la planta y se destinan al vertedero evidentemente tampoco se tienen en cuenta, y son, para las cuatro plantas:

- Yeso
- Vidrio
- Plástico (a parte del PVC y films de polietileno)
- Material aislante
- Materiales de baja densidad
- Como consideraciones particulares que tampoco se tienen en cuenta:
  - a) Para la planta básica:
    - i) Los bloques de hormigón armado

b) Para la intermedia y avanzada:

- i) El lodo de salida
- ii) El yeso con material ligero

El resto de los materiales y productos de salida de planta, se consideran parcialmente reutilizables. También, como ha sido antes mencionado, los materiales vendidos al mánager sí que se consideran recursos reutilizables lógicamente y sí que computan en este cálculo, siendo estos además muy preciados debido al carácter metálico de la mayoría.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados:

Tabla 6.1: Resumen de los porcentajes de la capacidad de recuperación y reciclaje de recursos de las plantas básica, intermedia, desarrollada y avanzada. Fuente: Elaboración propia.

	Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
<b>Capacidad de recuperación ( % )</b>	87,18	87,18	87,35	91,33
	Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
<b>Capacidad de reciclaje ( % )</b>	44,66	44,66	41,80	70,87

A la vista de los resultados, se confirma numéricamente la mejora de los porcentajes al utilizar una planta de nivel avanzado. Se muestra que la planta avanzada es el tipo más completo, y es por ello, por lo que en efecto consigue resultados realmente satisfactorios. Solamente con este tipo de planta con el reciclaje se obtiene un porcentaje por encima del 70%.

Se observa que el porcentaje de reciclaje de la desarrollada es el más bajo de los cuatro, dato que en un principio podría ser llamativo, pero entra dentro de las expectativas, puesto que, como se viene indicando en el trabajo, la planta desarrollada pretende mejorar la generación de AR de la planta básica, lo que hace dividir el flujo de gruesos, pero sin embargo no es tan cuidadosa con la extracción previa de materiales no-pétreos para la venta, y por ello se reduce la reciclaje y explica también la mínima diferencia del recuperación. El hecho de trabajar con lotes de RCD, hace que se apliquen tratamientos específicos, como ocurre en la avanzada.

Tabla 6.2: Cálculo del porcentaje de la capacidad de recuperación y reciclaje de recursos de la planta básica. Fuente: Elaboración propia.

Salidas	Destino	Salidas	Reciclaje	Recuperación
Piedras y tierra	venta	750,00	750,00	750,00
Mat. Bituminoso	venta	2.535,00	2.535,00	2.535,00
Yeso	vertedero	101,40	0	0
Madera	venta	2.312,20	2.312,20	2.312,20
Tablas de madera	venta	1.040,55	1.040,55	1.040,55
Vidrio	vertedero	127,50	0	0
Plástico	Otro plástico	419,06	0	0
	PVC	371,62	371,62	371,62
	Film	296,34	296,34	296,34
Papel/Cartón	venta	554,35	554,35	554,35
Bloques de H.A	vertedero	3.652,17	0	0
Mezclado de metales	venta	216,53	216,53	216,53
Metal (Fe)	venta	351,71	351,71	351,71
Otro residuos	vertedero	3.364,73	0	0
Árido reciclado cerámico mixto	Grueso	34.605,26	34.605,26	34.605,26
	Fino	25.963,84	0	25.964
	Todas en una	16.560,04	0	16.560
Materiales de baja densidad	vertedero	5.151,16	0	0
Total planta		98.373,46	43.033,55	85.557,43
Vendido previamente al manager		1.626,54	1.626,54	1.626,54
Total recuperado			44.660,09	87.183,97
% Recuperación			44,66	87,18

Tabla 6.3: Cálculo del porcentaje de la capacidad de recuperación de recursos de la planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

Salidas		Destino	Salidas	Reciclaje	Recuperación	
Piedras y tierra		venta	750,00	750,00	750,00	
Mat. bituminoso		venta	2.535,00	2.535,00	2.535,00	
Yeso		vertedero	101,40	0,00	0,00	
Madera		venta	2.312,20	2.312,20	2.312,20	
Vidrio		vertedero	127,50	0,00	0,00	
Tablas de madera		material	1.040,55	1.040,55	1.040,55	
Plástico	Otro plástico	vertedero	419,06	0,00	0,00	
	PVC	venta	371,62	371,62	371,62	
	Film	venta	296,34	296,34	296,34	
Papel/Cartón		venta	554,35	554,35	554,35	
Mezclado de metales		venta	216,53	216,53	216,53	
Otro residuos		vertedero	3.364,73	0,00	0,00	
Metal (Fe)		venta	351,71	351,71	351,71	
Bloques de H.A.		vertedero	3.652,17	0,00	0,00	
Materiales de baja densidad		vertedero	5.151,16	0,00	0,00	
Áridos cerámicos mixtos	Grueso	Alta calidad	venta	4.040,00	4.040,00	4.040,00
		Calidad media	venta	17.301,00	17.301,00	17.301,00
		Baja calidad	venta	13.264,00	13.264,00	13.264,00
	Fino	Alta calidad	venta	3.213,00	0,00	3.213,00
		Calidad media	venta	12.412,00	0,00	12.412,00
		Baja calidad	venta	10.338,00	0,00	10.338,00
	Todas en una	Alta calidad	venta	2.142,00	0,00	2.142,00
		Calidad media	venta	8.720,00	0,00	8.720,00
		Baja calidad	venta	5.698,00	0,00	5.698,00
Total planta			98.372,31	43.033,29	85.556,29	
Vendido previamente al manager			1.626,54	1.626,54	1.626,54	
Total recuperado				44.659,83	87.182,83	
% Recuperación				44,66	87,18	

Tabla 6.4: Cálculo del porcentaje de la capacidad de recuperación de recursos de la planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

Salidas	Destino	Salidas	Reciclaje	Recuperación
Piedras y tierra	venta	750,00	750,00	750,00
Mat. Bituminoso	venta	2.500,00	2.500,00	2.500,00
Yeso	vertedero	101,40	0,00	0,00
Madera	venta	2.232,00	2.232,00	2.232,00
Tablas de madera	venta	985,05	985,05	985,05
Vidrio	vertedero	127,50	0,00	0,00
Plástico	Otro plástico	424,00	0,00	0,00
	PVC	337,00	337,00	337,00
	Film	281,00	281,00	281,00
Papel/Cartón	venta	522,00	522,00	522,00
Bloques de H.A	vertedero	3.652,00	0,00	0,00
Mezclado de metales	venta	9,18	9,18	9,18
Metal (Fe)	venta	533,00	533,00	533,00
Otro residuos	Material aislante	3.192,00	0,00	0,00
Árido reciclado cerámico mixto	Hormigón	3.635,00	3.635,00	3.635,00
	Cerámicos	28.385,00	28.385,00	28.385,00
	Árido	32.287,00	0,00	32.287,00
	Yeso	2.997,00	0,00	2.997,00
Lodo	vertedero	10.272,33	0,00	10.272,33
Materiales de baja densidad	vertedero	5.151,00	0,00	0,00
Total planta		98.373,46	40.169,23	85.725,56
Vendido previamente al manager		1.626,54	1.626,54	1.626,54
Total recuperado			41.795,78	87.352,11
% Recuperación			41,80	87,35

Tabla 6.5: Cálculo del porcentaje de la capacidad de recuperación de recursos de la planta avanzads. Fuente: Elaboración propia.

Salidas			Destino	Salidas	Reciclaje	Recuperación
Piedras y tierra			venta	750,00	750,00	750,00
Mat. bituminoso			venta	2.705,00	2.705,00	2.705,00
Yeso			vertedero	104,80	0,00	0,00
Madera			venta	2.660,40	2.660,40	2.660,40
Vidrio			vertedero	127,50	0,00	0,00
Tablas de madera			material	1.275,87	1.275,87	1.275,87
Plástico	Otro plástico		vertedero	508,01	0,00	0,00
	PVC		venta	410,59	410,59	410,59
	Film		venta	363,35	363,35	363,35
Papel/Cartón			venta	684,37	684,37	684,37
Mezclado de metales			venta	305,99	305,99	305,99
Otro residuos			vertedero	3.620,40	0,00	0,00
Metal (Fe)			venta	440,41	440,41	440,41
Metales (Al,Cu,...)			venta	0,29	0,29	0,29
Lodo			vertedero	5.096,01	0,00	5.096,01
Materiales de baja densidad			vertedero	4.308,32	0,00	0,00
Yeso y mat. Ligero			vertedero	2.730,49	0,00	2.730,49
Áridos recicladoss cerámicos	Grueso	Alta calidad	venta	3.483,00	3.483,00	3.483,00
		Calidad media	venta	14.005,52	14.005,52	14.005,52
		Baja calidad	venta	11.041,07	11.041,07	11.041,07
	Fino	Alta calidad	venta	4.617,00	4.617,00	4.617,00
		Calidad media	venta	22.163,25	22.163,25	22.163,25
		Baja calidad	venta	10.923,21	0,00	10.923,21
Áridos recicladoss de hormigón	Grueso	Alta calidad	venta	787,13	787,13	787,13
		Calidad media	venta	2.521,60	2.521,60	2.521,60
		Baja calidad	venta	1.708,87	0,00	1.708,87
	Fino	Alta calidad	venta	1.029,81	1.029,81	1.029,81
Total planta				98.372,26	69.244,67	89.703,23
Vendido previamente al manager				1.626,54	1.626,54	1.626,54
Total recuperado					70.871,21	91.329,78
% Recuperación					70,87	91,33

## 6.2. CALIDAD DEL ÁRIDO RECICLADO

Otro aspecto importante para tener en cuenta y valorar las plantas, es la calidad de los áridos reciclados. Debido a que las impurezas no se pueden extraer del proceso, y entorpecen la calidad final, esta se puntuará en función de la presencia de impurezas en el árido reciclado final.

Estas impurezas serán el yeso, material bituminoso y los impropios contenidos en el árido reciclado final. Aquí da lugar a definir el término de “impropios”: flujos de materiales que no se han conseguido separar de la corriente y perjudican la calidad del árido reciclado final. Entonces, la calidad está marcada por el contenido de impurezas de los materiales al terminar el proceso, y en general, esos impropios no están limitados más allá de que su presencia y características perjudiquen la futura reutilización del árido, y por supuesto, teniendo en cuenta que son un indicador para los compradores. Sin embargo, sí que existen materiales que tienen valores máximos de impurezas ya marcados previamente. Esto es, por ejemplo, para el hormigón estructural, que se limita estrictamente el contenido de yeso y material asfáltico a menos de un 5%, y los impropios e impurezas no permiten sobrepasar el 1% (BOE, 2008b).

En este apartado se valora el árido reciclado obtenido únicamente a través de la fracción gruesa de salida, que es, en principio, la primera candidata para su posterior utilización, y la que tiene por ello más facilidad de venta, por lo que será interesante cuidar su obtención y procurar tener el menor contenido de impurezas.

Los materiales que comprometen la calidad del árido reciclado con su presencia son: madera, vidrio, plástico, yeso, material aislante, material asfáltico, embalajes y papel y cartón.

Es destacable que se establece una diferencia inicial que dificulta la comparación de los áridos, puesto que en cada planta se obtienen áridos que son distintos. En el caso de la básica, se obtiene como resultado áridos reciclados cerámicos mixtos de baja calidad, en la intermedia el tipo de árido es igual, pero diferenciando gracias a la separación por lotes tres calidades distintas. Además, en la desarrollada se obtienen áridos mixtos diferenciados de cerámicos y hormigón, y en la avanzada, conseguimos

también obtener áridos diferenciados de hormigón y cerámicos, que además son de distintas calidades, por la separación por lotes.

Debido a esto y para obtener una comparación justa, se dará mayor puntuación a los áridos con menor contenido de impurezas y además de multiplicarán por dos las puntuaciones de las plantas que consigan áridos de cerámicos y hormigón diferenciados. A continuación, se mostrarán las puntuaciones por cada uno de los tres tipos de impurezas: impropios, yeso y asfalto.

#### - Impropios

En primer lugar, se muestran a continuación en la tabla 6.6 los impropios de los áridos reciclados producidos en cada una de las cuatro plantas, en las tres calidades posibles. Cabe recordar que los impropios engloban: madera, vidrio, plástico, material aislante, embalajes y papel y cartón.

Tabla 6.6: Resumen del contenido de impropios en las 4 plantas. Fuente: Elaboración propia

		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA		AVANZADA	
Subcriterios		Mixed	Mixed	Ceramic	Concrete	Ceramic	Concrete
< 1	Impropios en el árido de baja calidad %	3,31	8,62	0,28	0,00	10,09	10,41
< 1	Impropios en el árido de media calidad %	-	0,00	-	-	0,32	0,00
< 1	Impropios en el árido de alta calidad %	-	0,00	-	-	0,00	0,00

Después, en la tabla 6.7, se muestran las puntuaciones por estos impropios, valorando como mejor puntuación el 10, siendo esta para contenido de impropios muy pequeño o nulo, y la peor el 0, para grandes contenidos de impropios.

Tabla 6.7: Valoraciones por % de impropios en el árido reciclado de las plantas. Fuente: Elaboración propia.

%	ptos
de 0-1	10
de 1-2	9
de 2-3	8
de 3-4	7
de 4-5	6
de 5-6	5
de 6-7	4
de 7-8	3
de 8-9	2
de 9-10	1
de 10-11	0



Además, como se ha comentado, se valorará doblemente los áridos que estén separados en hormigón y cerámicos. Así, se obtiene:

Tabla 6.8: Puntuaciones por calidad en función de bajo % de impropios y separación de tipo de árido reciclado. Fuente: Elaboración propia

		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA		AVANZADA	
		Mixed	Mixed	Ceramic	Concrete	Ceramic	Concrete
< 1	Impropios en el árido de baja calidad	7	2	20	20	0	0
< 1	Impropios en el árido de media calidad	0	10	0	0	20	20
< 1	Impropios en el árido de alta calidad	0	10	0	0	20	20
PUNTUACIONES		7	22	20	20	40	40
		7	22	20		40	

Como se aprecia en la tabla y como era esperado, la peor puntuación en calidad con este criterio la tendría la básica, y la avanzada la mejor. Es destacable comentar que, pese a que la intermedia y la desarrollada obtengan puntuaciones similares, de nuevo la intermedia, con la separación por lotes es interesante.

#### - Contenido de yeso

De la misma forma y con la misma finalidad, se procede a valorar la calidad a través del contenido de yeso en los áridos, mostrado en la tabla 5.15.

Tabla 6.9: Resumen del contenido de yeso en las 4 plantas. Fuente: Elaboración propia

		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA		AVANZADA	
Subcriterios		Mixed	Mixed	Ceramic	Concrete	Ceramic	Concrete
< 5	Contenido en yeso de baja calidad %	0,12	0,32	0,00	0,32	0,00	0,82
< 5	Contenido en yeso de media calidad %	-	0,00	-	-	0,00	0,00
< 5	Contenido en yeso de alta calidad%	-	0,00	-	-	0,00	0,00

A continuación, en la tabla 5.16 se reflejan las valoraciones numéricas, teniendo como mejor puntuación el 10, siendo esta para contenido de yeso muy pequeño o nulo.

Tabla 6.10: Valoraciones por % de yeso en el árido reciclado de las plantas. Fuente: Elaboración propia.

%	ptos
0-0,1	10
0,1-0,2	9
0,2-0,3	8
0,3-0,4	7
0,4-0,5	6
0,5-0,6	5
0,6-0,7	4
0,7-0,8	3
0,8-0,9	2
0,9-1	1
1-1,1	0

Una vez más, se valorará doblemente los áridos que estén separados en hormigón y cerámicos. Así, se obtienen los resultados de la tabla 5.7, que de la misma manera que en el caso anterior, ayudarán a comparar de una forma más justa los tipos de áridos producidos en cada una de las cuatro plantas. También, para establecer las puntuaciones, según el tipo de impureza cambia la valoración del contenido de estas, siendo por ello los % de valoración de contenido de yeso distintos a los anteriores.

Tabla 6.11: Puntuaciones por calidad en función de bajo % de yeso y separación de tipo de árido reciclado. Fuente: Elaboración propia

		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA		AVANZADA	
Subcriterios		Mixed	Mixed	Ceramic	Concrete	Ceramic	Concrete
< 5	Yeso en árido de baja calidad	9	7	20	14	20	4
< 5	Yeso en árido de media calidad	0	10	0	0	20	20
< 5	Yeso en árido de alta calidad	0	10	0	0	20	20
PUNTUACIONES		9	27	20	14	60	44
		9	27	17		52	

Se refleja de nuevo la misma situación con este criterio. La básica se lleva la peor valoración y la avanzada la mejor, y, además, se acentúa ahora la diferencia entre la desarrollada y la intermedia, poniendo otra vez en valor la separación por lotes.

#### - Contenido de asfalto

Por último y de la misma forma, se procede a valorar la calidad a través del contenido de yeso en los áridos, mostrado en la tabla 5.18.

Tabla 6.12: Resumen del contenido de asfalto en las 4 plantas. Fuente: Elaboración propia

		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA		AVANZADA	
Subcriterios		Mixed	Mixed	Ceramic	Concrete	Ceramic	Concrete
< 5	Contenido en asfalto de baja calidad %	4,90	12,79	5,68	0,12	14,04	0,24
< 5	Contenido en asfalto de media calidad %	-	0,00	-	-	0,00	0,00
< 5	Contenido en asfalto de alta calidad %	-	0,00	-	-	0,00	0,00

A continuación, en la tabla 5.19 se reflejan las valoraciones numéricas, teniendo como mejor puntuación el 10, siendo esta para contenido de asfalto muy pequeño o nulo.

Tabla 6.13: Valoraciones por % de asfalto en el árido reciclado de las plantas. Fuente: Elaboración propia.

%	ptos
0-1,5	10
1,5-3	9
3-4,5	8
4,5-6	7
6-7,5	6
7,5-9	5
9-10,5	4
10,5-12	3
12-13,5	2
13,5-15	1
15-16,5	0

Por última vez, se valorará doblemente los áridos que estén separados en hormigón y cerámicos. Con este nuevo criterio, se obtienen los mismos resultados que con los anteriores.

Tabla 6.14: Puntuaciones por calidad en función de bajo % de yeso y separación de tipo de árido reciclado. Fuente: Elaboración propia

		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA		AVANZADA	
Subcriterios		Mixed	Mixed	Ceramic	Concrete	Ceramic	Concrete
< 5	Asfalto en el árido de baja calidad	7	2	14	20	2	20
< 5	Asfalto en el árido de media calidad	0	10	0	0	20	20
< 5	Asfalto en el árido de alta calidad	0	10	0	0	20	20
PUNTUACIONES		7	22	14	20	42	60
		7	22	17		51	

De esta forma, obtenemos como puntuaciones generales de calidad la siguiente tabla:

Tabla 6.15: Puntuaciones de calidad por bajo contenido de impurezas por cada tipo de planta.

Fuente: Elaboración propia.

Subcriterios	BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA	AVANZADA
PUNTUACIONES TOTALES POR BAJAS IMPUREZAS	23	71	54	143

Como se observa, los áridos generados por la planta básica son los de menor calidad mientras que los generados en la avanzada, son destacablemente los mejores, debido a la mejor maquinaria y trabajo por lotes. Se observa también que los otros dos tipos de planta mejoran la calidad del árido, pero que la separación por lotes (planta intermedia) obtiene mejores resultados de calidad.

### **6.3. INGRESOS DE LA VENTA DE RCD's**

Este criterio, se basa en el cálculo de los ingresos generados por la venta de los recursos recuperados y reciclados. Se incluyen, por tanto, no sólo los recursos obtenidos como productos reciclados tras el tratamiento en planta, sino que también los desviados inicialmente y vendidos a los managers de residuos, y los materiales de valor que son extraídos durante el proceso de planta. En primera instancia se establecen los precios de cada corriente de residuos. Ha de tenerse en cuenta, que los precios pueden variar según la región en cuestión y también según los acuerdos particulares entre las plantas de reciclaje y los managers de residuos. Aproximadamente todos los precios se obtienen directamente de las plantas de reciclaje operativas en Cantabria (Dosal E., 2015) y del mercado de materiales. Sin embargo, en los casos en los que no se ha encontrado información al respecto, los precios utilizados son estimados con información recogida de otras regiones o de materiales con características similares.

- 1) Por ejemplo, para las corrientes de residuos “Piedras y tierra” y “Material bituminoso”, no se han encontrado datos del precio de venta y su valor es estimado en base a los precios de los áridos reciclados de baja calidad.
- 2) Para el precio del vidrio recuperado tampoco hay datos disponibles, por esta razón este valor se estima en base al precio del volumen de vidrio natural utilizado en la construcción (CYPE ingeniero, S.A., 2014), y utilizando la densidad del vidrio (Saint Gobain, 2014), se puede determinar el precio por peso del vidrio natural. Lógicamente, el precio estimado para el vidrio reciclado es menor.
- 3) Una de las corrientes de residuos con un mercado consolidado y precios disponibles es la de “Papel y cartón”. La asociación española de productores de

pulpa de madera, papel y cartón, Aspapel (2021), que publica la información de los precios de estos materiales.

- 4) Otra corriente de salida con un mercado establecido es la de los “Metales”, para la cual la bolsa de metales de Londres publica los precios mensualmente, siendo dichos precios considerados como precios de referencia mundial (LME, 2021). Los precios de los metales mixtos se estiman sobre un precio similar al del hierro y acero, pero considerando que contiene metales con un precio de mayor valor.
- 5) En el caso de los áridos reciclados, el precio establecido está condicionado a la presencia de impurezas, el tamaño de partícula y el tipo de árido obtenido. La clasificación de los áridos reciclados empleada en este trabajo se basa en la categoría de áridos reciclados propuesta en Elena Dosal (2015), la cual es fundamentada por la Guía Española de Áridos reciclados a partir de RCD's. Dicha clasificación define a los áridos reciclados de hormigón, como aquellos áridos reciclados que presentan más de un 90% de peso en hormigón, áridos reciclados cerámicos, con más de un 70% de peso en materiales cerámicos, y áridos reciclados mixtos, con menos de un 90% de peso de hormigón y menos de un 30% de peso de materiales cerámicos. En Cantabria, al ser los materiales cerámicos el componente mayoritario de los RCD's, se asume que el contenido de materiales cerámicos de los áridos reciclados es siempre superior al 30%. Como consecuencia, solo se producen dos tipos de áridos reciclados, los procedentes de hormigón y los procedentes de materiales cerámicos. No obstante, en este trabajo, a los áridos cerámicos producidos en la planta básica se les denomina como áridos cerámicos mixtos por su alto contenido en hormigón y su carácter mezclado. Los precios de los áridos reciclados se obtienen de las plantas de reciclado en Cantabria y de los datos de otras regiones publicados por CEDEX (2010).
- 6) Muchos precios se obtienen de plantas de reciclaje, como es el caso del plástico PVC, plástico film de polietileno, o la madera. Cabe destacar que la recuperación de la madera no resulta rentable, a pesar de estar situada en la valorización material.

En la tabla 6.16 se incluyen los ingresos generados por tonelada recuperada de los recursos con un mercado establecido. Aquellos recursos que no aparecen en la tabla no poseen valor en el mercado y consiguientemente son destinados al vertedero.

Tabla 6.16: Ingresos generados por tonelada recuperada de los recursos con un mercado establecido por ambos tipos de plantas. Fuente: Elena Dosal, (2015)

Materiales recuperados		Precio (€/Ton)
Piedras y tierra		1
Materia bituminoso		1
Plástico PVC		50
Plástico film		100
Vidrio		1
Cartón		104
Papel/Cartón		87
Mezclado metales		420
Áridos reciclados		Calidad Precio (€/Ton)
Áridos reciclados cerámicos	Grueso > 4mm	Alta 3
		Media 2,5
		Baja 2
	Fines y todas en una < 4mm	Alta 1
		Media 1
		Baja 1
Áridos reciclados de hormigón	Grueso > 4mm	Alta 4,5
		Media 4
		Baja 3,5
	Fines y todas en una	Alta 3
Áridos cerámicos mixtos	Grueso > 4mm	Alta 3
		Media 2,5
		Baja 2
	Fines y todas en una	Baja 0,5

Teniendo en cuenta los recursos recuperados, tanto los productos reciclados obtenidos como los materiales de valor segregados, y los precios estimados, se calculan los ingresos generados por las cuatro plantas.

Analizando los resultados obtenidos, a planta básica es efectivamente más barata. Ahora bien, si se tiene en cuenta que la mayoría de los ingresos vienen a raíz de la venta de materiales que su precio es directamente proporcional a la calidad y segregación, sabemos que no será la básica la planta que más ingrese.

En la planta avanzada, se puede comprobar que los ingresos generados son mayores, aunque no exista tanta diferencia como se podría esperar en primera instancia. Los cálculos reflejan, al igual que en la planta básica, que los ingresos generados dependen directamente por un lado de la cantidad referida a la venta de materiales no-pétreos, como metales, que son los de mayor valor, y si esta se realiza previa al tratamiento en planta o tras la extracción durante el proceso. Por otro lado también dependen de los áridos reciclados, no tanto en cantidad sino en calidad,

puesto que marcará su precio de venta y por ello serán mayores en plantas que consigan un mejor tratamiento para la fracción pétreo.

Al tener en cuenta este criterio, debemos diferenciar las salidas pétreas de las que no lo son. Esto es porque en tanto en cuanto a estas últimas, los resultados son bastante similares, ya que no existe prácticamente variación entre las cuatro plantas y todas coinciden en los procesos de separación de residuos no pétreos para la venta. Donde sí se establecen claras diferencias es en los áridos reciclados obtenidos, principalmente por dos motivos:

- Separación por lotes, gracias a ella se diferencian calidades entre los tamaños.
- Mejora en equipamiento, con lo que se consigue que el árido reciclado se distinga entre AR de hormigón y AR cerámico.

En resumen, bajo estas consideraciones, este criterio conseguirá de alguna forma englobar tanto la recuperación, ya que sólo aquellos reutilizables tendrán valor monetario, como la calidad, ya que cuanto mayor sea, más caro podrá venderse. Hay que tener también en cuenta que una gran parte de los ingresos totales generados dependen directamente de la cantidad referida a la venta de metales.

En las tablas 6.17, 6.18, 6.19 y 6.20 se muestra el cálculo de los ingresos, resultado del producto entre los precios establecidos por tonelada y el total de toneladas recuperados en un año por la planta y el material o árido reciclado en cuestión.

Como muestran las tablas, nuevamente se refleja que la básica es la que menores ingresos genera, de la misma forma que la avanzada es la que más obtiene. Por otro lado, y de nuevo, entre las dos alternativas medias, la intermedia con la separación por lotes consigue mejores resultados que la desarrollada, si bien es cierto que esta también demuestra mejoría con respecto a la básica gracias a la mejora en el equipamiento.

Además a estos ingresos en las 4 plantas habría que añadirles los ingresos por la venta al manager de residuos y además por el tratamiento de los RCD's en la planta, que al ser comunes para todas y previas al tratamiento en planta, no se tendrán en cuenta.

Tabla 6.17: Cálculo de los ingresos generados por planta básica. Fuente: Elaboración propia.

Salidas	Valor (€/Ton)	Salida de las plantas (Tons)	Ingresos generados (€)
Piedras y tierra	1	750	750
Mat. Bituminoso	1	2.535	2.535
Yeso	0	101	0
Madera	0	2.312	0
Tablas de madera	0	1.041	0
Vidrio	0	128	0
Otro plástico	0	419	0
Plástico PVC	50	372	18.581
Film	100	296	29.634
Papel/Cartón	83	554	46.011
Bloques de H.A	0	3.652	0
Mezclado de metales	420	217	90.941
Metal (Fe)	420	352	147.718
Otro residuos	0	3.365	0
Árido reciclado Grueso	2	25.964	51.928
cerámico mixto Fino	0,5	16.560	8.280
Todas en una	0	34.605	0
Materiales de baja densidad	0	5.151	0
Total planta		98.373	396.378
Vendido previamente al manager		1.627	
Total		100.000	396.378
TOTAL POR ÁRIDOS			60.208

Tabla 6.18: Cálculo de los ingresos generados por planta intermedia. Fuente: Elaboración propia.

Salidas		Valor (€/Ton)	Salida de la planta (Tons)	Ingresos generados (€)	
Piedras y tierra		1	750	750	
Mat. bituminoso		1	2.535	2.535	
Yeso		0	101	0	
Madera		0	2.312	0	
Vidrio		0	128	0	
Tablas de madera		0	1.041	0	
Plástico	Otro plástico	0	419	0	
	PVC	50	372	18.581	
	Film	100	296	29.634	
Papel/Cartón		83	554	46.011	
Mezclado de metales		420	217	90.941	
Otro residuos		0	3.365	0	
Metal (Fe)		420	352	147.718	
Bloques de H.A.		0	3.652	0	
Materiales de baja densidad		0	5.151	0	
Áridos cerámicos mixtos	Grueso	Alta calidad	3	4.040	12.120
		Calidad media	2,5	17.301	43.253
		Baja calidad	2	13.264	26.528
	Fino	Alta calidad	0,5	3.213	1.607
		Calidad media	0,5	12.412	6.206
		Baja calidad	0,5	10.338	5.169
	Todas en una	Alta calidad	0	2.142	0
		Calidad media	0	8.720	0
		Baja calidad	0	5.698	0
Total planta			98.373	431.052	
Vendido previamente al manager			1.627		
Total			100.000	431.052	
TOTAL POR ÁRIDOS				94.882	



Tabla 6.19: Cálculo de los ingresos generados por planta desarrollada. Fuente: Elaboración propia.

Salidas	Valor (€/Ton)	Salida de las plantas (Tons)	Ingresos generados (€)
Piedras y tierra	1	750	750
Mat. Bituminoso	1	2.500	2.500
Yeso	0	101	0
Madera	0	2.232	0
Tablas de madera	0	985	0
Vidrio	0	128	0
Plástico	Otro plástico	0	0
	PVC	50	16.850
	Film	100	28.100
Papel/Cartón	83	522	43.326
Bloques de H.A	0	3.652	0
Mezclado de metales	420	9	3.856
Metal (Fe)	420	533	223.861
Otro residuos	0	3.192	0
Árido reciclado cerámico mixto	Hormigón	3,5	12.723
	Cerámicos	2	56.770
	Árido	0,5	16.144
	Yeso	0	0
Lodo	0	10.272	0
Materiales de baja densidad	0	5.151	0
Total planta		98.373	404.879
Vendido previamente al manager		1.627	
Total		100.000	404.879
TOTAL POR ÁRIDOS			85.636

Tabla 6.20: Cálculo de los ingresos generados por planta avanzada. Fuente: Elaboración propia.

Salidas		Valor	Salida de las plantas (Tons)	Ingresos generados (€)	
Piedras y tierra		1	750	750	
Mat. bituminoso		1	2.705	2.705	
Yeso		0	105	0	
Madera		0	2.660	0	
Vidrio		0	128	0	
Tablas de madera		0	1.276	0	
Plástico	Otro plástico	0	508	0	
	PVC	50	411	20.530	
	Film	100	363	36.335	
Papel/Cartón		83	684	56.803	
Mezclado de metales		645	306	197.364	
Otro residuos		0	3.620	0	
Metal (Fe)		420	440	184.973	
Metales (Al,Cu,...)		420	0	124	
Lodo		0	5.097	0	
Materiales de baja densidad		0	4.308	0	
Yeso y mat. Ligero		0	2.730	0	
Áridos recicladoss cerámicos	Grueso	Alta calidad	3	14.006	42.017
		Calidad media	2,5	3.483	8.708
		Baja calidad	2	1.030	2.060
	Fino	Alta calidad	1	22.163	22.163
		Calidad media	1	4.617	4.617
		Baja calidad	1	11.041	11.041
Áridos recicladoss de hormigón	Grueso	Alta calidad	4,5	787	3.542
		Calidad media	4	2.522	10.086
		Baja calidad	3,5	1.709	5.981
	Fino	Alta calidad	3	10.923	32.770
Total planta			98.373	642.568	
Vendido previamente al manager			1.627		
Total			100.000	642.568	
TOTAL POR ÁRIDOS				110.214	

## 6.4. PLANTAS DE RECICLAJE EN SANTANDER Y ANEXOS

Actualmente, Cantabria cuenta con cuatro plantas para el tratamiento de los residuos de construcción:

- Sadisa, en Meruelo, con una capacidad de 80.000 toneladas al año
- Valoria (Cacicedo de Camargo), para 362.800 Tm/año
- Excavaciones Josman (Marina de Cudeyo), que es la más pequeña, con 3.600 Tm/año
- Reciclajes Camargo, que puede llegar a tratar 90.000 Tm/año.

En conjunto, una capacidad más que sobrada para atender las aproximadamente 100.000 toneladas de RCDs que se produjeron en la región en 2013, último dato disponible.

El RCD es un residuo que por su volumen y su bajo valor comercial no puede transportarse a grandes distancias; de ahí que las plantas de reciclado se sitúen en las zonas donde más se edifica. Para evitar la necesidad de ese traslado y completar el mapa regional de plantas, el Plan de Residuos propone la apertura a medio o largo plazo de nuevos centros de reciclaje en la zona occidental de Cantabria, con una capacidad de 30.000 Tm/año, y de dos plantas en la zona sur de la comunidad y en el área central/occidental, capaces de tratar entre 80.000 y 100.000 toneladas. Su materialización dependerá de que se reactive la construcción en esas zonas y del interés que muestre la iniciativa privada.

De las plantas citadas anteriormente, para el Área I de Cantabria tenemos 3 donde tratar los RCD:

- Valoria (Cacicedo de Camargo), para 362.800 Tm/año
- Excavaciones Josman (Marina de Cudeyo) con 3.600 Tm/año
- Reciclajes Camargo, que puede llegar a tratar 90.000 Tm/año.

La capacidad de dichas plantas permite tratar todo el flujo de RCD bajo estudio. Las tres plantas corresponden con plantas denominadas básicas en este trabajo y por lo tanto la calidad de los áridos obtenidos es baja.

Teniendo en cuenta que la planta de Valoria tiene una capacidad muy superior a la necesaria para esta región se propone modificar el funcionamiento de dicha planta para trabajar por lotes; bien es cierto que esto no se trata sólo de una forma de funcionamiento en la planta, sino que también requeriría un compromiso por parte de las empresas generadoras de RCD's, y de las instituciones regionales para apoyar la separación de los residuos en pétreos y no-pétreos.

## 6.5. APROXIMACIÓN DE COSTES

### 6.5.1. Costes fijos

Estos se tratan de los costes imprescindibles que son derivados de los equipos necesarios en cada planta de reciclaje, que serán evaluados en cada caso. Para hacer el problema más sencillo, no se tienen en cuenta los costes necesarios para que se lleve a cabo la instalación.

Para este estudio, deberemos saber cuáles son los equipos en cada planta, datos que son mostrados en la tabla 6.21.

Tabla 6.21: Coste de la maquinaria en todos los tipos de planta. Fuente: Elena Dosal, (2015)

EQUIPAMIENTO	PRECIO APROXIMADO (€)	BÁSICA/INTERMEDIA		DESARROLLADA		AVANZADA	
		Nº	COSTE (€)	Nº	COSTE (€)	Nº	COSTE (€)
Balanzas	18.986	1	18986	1	18986	1	18986
Excavadoras	141.750	0	0	0	0	1	141750
Área de descarga	48.510	0	0	0	0	1	48510
Área de descarga de alta calidad	246.750	1	246750	1	246750	0	0
Accesorios de área de descarga	115.500	1	115500	1	115500	0	0
Retroexcavadora	55.650	1	55650	1	55650	0	0
Almacenamiento	32.823	1	32823	1	32823	1	32823
Criba vibratoria	49.441	1	49441	1	49441	1	49441
Trituradora de mandíbula	44.893	1	44893	1	44893	0	0
Banda magnética	21.000	1	21000	1	21000	1	21000
Criba rotatoria	117.600	1	117600	1	117600	0	0
Barrido de viento	36.446	1	36446	1	36446	1	36446
Cabina de clasificado manual	56.543	1	56543	1	56543	1	56543
Plataforma transportadora	21.000	6	126000	6	126000	9	189000
Plataforma transportadora inclinada	25.200	2	50400	2	50400	2	50400
Contenedor	515	10	5145	10	5145	14	7203
Trituradora de impacto	147.000	0	0	0	0	1	147000
Espiral	18.293	0	0	1	18293	1	18293
Sacudidora de humedad	422.625	0	0	1	422625	1	422625
Separación metálica	35.758	0	0	0	0	1	35758
TOTAL		29	977.176 €	31	1.418.094 €	37	1.275.777 €

Pueden existir grandes disparidades entre los precios indicados y los que realmente se cobran a un comprador concreto. Una de las razones es el posible descuento ofrecido por un fabricante que dependerá de factores como el número de unidades pedidas y lo bien que se esté vendiendo el modelo en ese momento concreto (Garbarino y Blengini, 2013). Aparte de esto, los precios pueden cambiar con el tiempo o las condiciones económicas, por esta razón estos precios de lista de presupuesto deben ser considerados como una aproximación.

Asumimos aquí que, en el caso de la desarrollada y avanzada, un aumento de maquinaria supondrá evidentemente también un aumento en el precio.

### 6.5.2. Costes laborales y operacionales

Este criterio, en su caso, se trata de costes operacionales, como son de mantenimiento o de utilización y consumo, y por supuesto, costes laborales, que son los relacionados con los empleados en la planta, que quedan resumidos en la tabla 5.2.:

Tabla 6.22: Costes operacionales en todos los tipos de planta. Fuente: Elaboración propia.

EQUIPAMIENTO	PRECIO APROXIMADO (€)	COSTE (€)			
		BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA	AVANZADA
Costes operacionales	Mantenimiento	49.663	49.663	59.223	69.530
	Consumo de diesel	68.973	68.973	68.973	44.854
	Consumo de agua	139	139	40.112	40.112
	Consumo de energía	20.407	20.407	51.696	51.696
Costes laborales		152.868	214.681	181.351	244.481
TOTAL		292.050	353.863	401.355	450.673

El mantenimiento se calcula aplicando una aproximación propuesta por (Peters et al., 2003), en la que el coste de mantenimiento se sitúa entre el 7 y el 11% del coste de capital de los equipos, incluyendo salarios y materiales. Se supone que los costes de mantenimiento son el 9% del coste de capital para cada equipo, así como que para las plantas de reciclaje se establecen 1780 horas de trabajo al año, según se extrae del convenio colectivo del sector de residuos en España (BOE, 2013). También es interesante destacar que los equipos no están operativos a tiempo completo, ya que los residuos de entrada se almacenan hasta que se acumulan los suficientes y luego se introducen en el proceso. De hecho, cada equipo tiene un tiempo operativo

diferente, que depende de diferentes aspectos como las características de los residuos de entrada, el diagrama de flujo de la planta de reciclaje, la cantidad de residuos que debe tratar cada equipo y su capacidad. Esto se incluye mediante el uso de factores operativos, definidos como una fracción de la unidad que representa el tiempo que cada equipo está operativo (Arregi, 2010). Por ejemplo, una trituradora de mandíbulas se utiliza en una instalación de reciclaje de básica, intermedia y desarrollada sólo para triturar la fracción mayor, y por esta razón tiene un factor operativo pequeño. Sin embargo, una trituradora de impacto, se utiliza en la instalación de reciclaje de avanzada para triturar todo el flujo de residuos y por esta razón tiene un factor operativo más alto.

Una vez conocido el mantenimiento anual por equipo, y el factor operacional que representa la fracción de tiempo que cada equipo está operativo, entonces se calcula el coste anual de mantenimiento por equipo, como vemos en la tabla anterior. La suma de los equipos es el coste por planta.

Tabla 6.23: Factores operacionales en todos los tipos de planta. Fuente: Elaboración propia.

EQUIPAMIENTO	BÁSICA/INTERMEDIA		DESARROLLADA		AVANZADA	
	Nº		Nº		Nº	
Balanzas	1	0.5	1	0.5	1	0.5
Excavadoras	-	-	-	-	1	1.0
Área de descarga	-	-	-	-	1	0.6
Área de descarga de alta calidad	1	0.6	1	0.6	-	-
Accesorios de área de descarga	1	0.4	1	0.4	-	-
Retroexcavadora	1	1.0	1	1.0	-	-
Criba vibratoria	1	0.4	1	0.4	1	0.6
Trituradora de mandíbula	1	0.6	1	0.6	-	-
Banda magnética	1	0.6	1	0.6	1	0.6
Criba rotatoria	1	0.6	1	0.6	-	-
Barrido de viento	1	0.6	1	0.6	1	0.6
Cabina de clasificado manual	1	0.6	1	0.6	1	0.6
Plataforma transportadora	6	0.6	6	0.6	9	0.6
Plataforma transportadora inclinada	2	0.6	2	0.6	2	0.6
Trituradora de impacto	-	-	-	-	1	0.6
Espiral	-	-	1	0.5	1	0.5
Sacudidora de humedad	-	-	1	0.6	1	0.6
Separación metálica	-	-	-	-	1	0.6

Los servicios necesarios en una planta de reciclaje de RCDs son básicamente gasoil, agua y energía eléctrica. El gasóleo es consumido por los equipos móviles (retroexcavadoras, cuchara, entre otros) estando directamente relacionado con el

tratamiento manual de estos residuos, y por tanto con las características de los residuos entrantes a tratar. Aparte de esto, en una planta de reciclaje básica, intermedia y desarrollada el hormigón armado se trata manualmente, con accesorios de cuchara, y por esta razón se supone que el consumo de gasoil es ligeramente superior al de una planta de reciclaje tipo avanzada. Se estima un consumo para la instalación de reciclaje tipo básica de 0,43 y 0,62 l/tonelada para los residuos segregados y mezclados respectivamente, teniendo en cuenta los valores utilizados por Mercante et al., (2012). Para la instalación de reciclaje tipo avanzada, se considera un valor menor de 0,3 l/tonelada si los residuos son segregados, y de 0,4 l/tonelada si son mezclados. Teniendo en cuenta el precio del gasóleo en Cantabria en septiembre de 2021, 1,18 €/L, se pueden calcular los costes finales del gasóleo, que se incluyen en la Tabla 6.24

Además, en estas instalaciones de reciclaje también se utiliza agua, bien para el control del polvo o/y en los equipos de clasificación en húmedo, como las espirales y el jigging en húmedo. De hecho, Mercante et al., (2012) asumieron que el control del polvo consume 1 L/tonelada de RCD tratados, pero la inclusión de medidas para evitar el consumo excesivo de agua produce una tasa de recuperación del 33% (Emmitt, 1996). En el caso de la clasificación por vía húmeda, Schnellert y Mueller (2010) establecen que para los jigs húmedos se necesitan 290 m<sup>3</sup>/h para tratar 120 ton/h de RCD, con unas pérdidas de agua con el producto del 10%. En el caso de las espirales, Coelho y De Brito, (2013f) destacan que la masa sólida dentro del flujo de agua debe estar entre el 20 y el 40%, con agua recirculada mediante bombas de agua. En este sistema, también se supone que las pérdidas de agua son del 10%, como se propone para los clasificadores húmedos por Schnellert y Mueller, (2010). La cantidad de residuos a tratar por los equipos se obtiene del balance de masas desarrollado, por lo que se puede calcular el consumo de agua necesario para rellenar el depósito. La tasa de agua se extrae de un estudio desarrollado por la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (AEAS) (AEAS-AGA, 2013), en el que se establece un valor medio de 2,07 €/m<sup>3</sup> para el uso industrial. Los datos de los costes relacionados con el consumo de agua se pueden observar en la Tabla 6.22.

Finalmente, el último suministro es el consumo de energía eléctrica, calculado teniendo en cuenta el factor de funcionamiento y la potencia necesaria para cada equipo instalado. Este último se estima a partir de los datos publicados por (Coelho y

De Brito, 2013b) y una empresa de equipos (HENAN, 2015). Una vez calculado el consumo total de energía eléctrica de cada instalación de reciclaje por escenario, se utiliza un valor estimado de 0,145 €/Kwh consumido y se calcula el coste total derivado, que se incluye en la Tabla 6.22.

Además de los costes operativos, este criterio incluye los costes de mano de obra, que dependen del tipo de instalación de reciclado y de las características de los residuos. Por ejemplo, cuando un residuo mezclado llega a una planta de reciclaje, debe ser tratado manualmente antes de ser introducido en el proceso, lo que requiere más empleados cuanto más mezclados estén los residuos que entran en la planta. Además, dependiendo del equipo instalado en la planta de reciclaje, el proceso de clasificación es más intensivo si los residuos están más mezclados y, además, se necesitan más empleados. En la Tabla 6.24. se incluye el número, la cualificación y el salario anual de los empleados por planta de reciclaje y escenario y el coste total estimado. El salario anual de los empleados se extrae del convenio colectivo del sector de los residuos en España (BOE, 2013).

Tabla 6.24: Costes relacionados con el personal laboral de las plantas. Fuente: Elaboración propia.

EQUIPAMIENTO	PRECIO APROXIMADO (€)	BÁSICA		INTERMEDIA		DESARROLLADA		AVANZADA	
		Nº	COSTE (€)	Nº	COSTE (€)	Nº	COSTE (€)	Nº	COSTE (€)
Trabajador no especializado	13541,9	5	67709,3	6	81251,1	6	81251,1	8	103176,0
Operario	14940,5	2	29880,9	4	59761,8	3	44821,4	5	71145,0
Supervisor	18389,7	1	18389,7	2	36779,4	1	18389,7	2	35028,0
Administración	13541,9	1	13541,9	1	13541,9	1	13541,9	1	12897,0
Responsable de área	23346,8	1	23346,8	1	23346,8	1	23346,8	1	22235,0
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>	<b>152.868 €</b>	<b>10</b>	<b>214.681 €</b>	<b>10</b>	<b>181.351 €</b>	<b>17</b>	<b>244.481 €</b>

Para el caso de la planta intermedia, supone un aumento en trabajadores no especializados, operarios y supervisores, debido a que la separación por lotes supone un aumento tanto de espacio físico como de personas que lo realicen. Sin embargo, aunque este coste sea más reducido en la desarrollada, por su aumento de maquinaria esta supondrá un aumento en los consumos en general.

## 7. TRATAMIENTO DE LOS RCD's ANTES DE LAS PLANTAS

El objeto de este trabajo se ha centrado en el estudio del tratamiento de residuos dentro de las plantas de reciclaje, partiendo para estimar la cantidad inicial, de una simulación en el área de Santander y limítrofes. También es cierto que, como se ha comentado, para mejorar completamente la gestión de RCD's, es importante también el proceso de demolición y la separación que se haga de los residuos de construcción generados. Este apartado, mediante el uso del programa GAMS y para la planta básica, como son las de la región de Cantabria, se verá, con el mismo porcentaje de segregación (15%), en qué medida sería mejor tener mezclado pétreo o total.

El proceso será igual al descrito en el apartado 5.1, partiendo también de 100.000 toneladas. De la misma manera, pasando por el mánager de residuos, entran a la planta 98.373 toneladas de RCD's.

El porcentaje de pétreos es el tanto por ciento de residuos de origen pétreo totales. Las variables “mp” y “mt”, son respectivamente las fracciones de pétreos y RCD's del total, siendo la parte restante el material segregado. Estableciéndose así:

$$1 = \% \text{Segregados} + mp + mt$$

Además, se analiza la variable “valor”, obtenida a través de la siguiente formula:

$$\text{Valor} = \sum \text{Precio venta} \left( \frac{\text{€}}{\text{Ton}} \right) \cdot \text{Salidas del árido cerámico (Ton)}$$

Ese precio de venta serán unos coeficientes numéricos que puntúan el valor de la salida de los áridos de estas plantas básicas de la siguiente forma:

Tabla 7.1: Puntuaciones del valor del árido cerámico mixto. Fuente: Elaboración propia

Áridos reciclados		Calidad	Precio (€/Ton)
Áridos cerámicos mixtos	Grueso > 4mm	Baja	1,5
	Fines y todas en una	Baja	0,5

Se trata por ello de maximizar la variable valor antes mencionada, de forma que se refleje cómo repartir mp y mt previo para que el valor de los áridos sea lo más alto posible. Así, las salidas de la planta serían:



Tabla 7.2: Cantidades de RCD's de las corrientes de salida de la planta básica maximizando el valor.

Fuente: Elaboración propia.

CORRIENTES DE SALIDA	TON
Residuos segregados para venta	3408
Piezas largas para la venta	5478
Tratamiento manual del hormigón	3981
Separación magnética	158
Separación por barrido de viento	3410
Clasificado manual	411
Gruesos	36555
Finos	26984
Todos en uno	17988
TOTAL	98373

De estas salidas, se valoran las variables anteriormente mencionadas:

Tabla 7.3: Variables estudiadas para hacer el valor de los áridos máximo. Fuente: Elaboración propia.

VARIABLES	
% pétreos	80
mp	0,564
mt	0,3
%segregación	0,136
Valor	54583

Además, para establecer una comparación, analizamos el valor de estas variables partiendo de la situación que se ha estudiado en todo el trabajo, haciendo que el porcentaje de mezcla pétrea y de residuos totales sea igual:

Tabla 7.4: Variables estudiadas para el caso de porcentaje de pétreos y mezclado total iguales.

Fuente: Elaboración propia.

VARIABLES	
% pétreos	80
mp	0,432
mt	0,432
%segregación	0,136
Valor	50966

A la vista de los resultados se destaca, que si las plantas de reciclaje partieran de una situación en la que el porcentaje de mezclado genérico fuera menor y se consiguiera empezar el proceso con mayores cantidades de residuos de origen pétrea separados, se obtendría mayor cantidad de áridos reciclados.

## 8. CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado la influencia de varios tipos de plantas de reciclaje de RCD en la calidad el producto obtenido y se han comparado criterios técnicos, económicos y medioambientales. Las diferencias entre las plantas analizadas son de dos tipos: equipamiento tecnológico y de forma de tratamiento según se trabaje con todo el RCD simultáneamente o en lotes.

Se han simulado cantidades reales de RCD's generados en el área de Santander y anexos estimando que un 15% de los RCD están segregados y que de la fracción no segregada el 42,5% son pétreos y 42,5% son no-pétreos; todo ello para las cuatro plantas. Además, se han utilizado las proporciones típicas de la composición de los RCD en España.

Las cuatro plantas anteriormente mencionadas son básica, intermedia, desarrollada y avanzada, partiendo de la más sencilla hasta la más compleja. El primer salto se produce con la intermedia, cuyo funcionamiento es idéntico a la básica, pero utilizándose separación por lotes de los residuos. Con la desarrollada no se hace distinción por lotes, pero se produce un aumento del equipamiento de la planta, hasta llegar a la avanzada, que dispone tanto del mayor grado de sofisticación de maquinaria como de separación por lotes.

Con ello, se han obtenido las conclusiones mostradas a continuación:

- 1) Desarrollados los balances de materia de materia para cada una de las plantas, se observan diferencias en las corrientes de salida tanto en calidad como en cantidad. Las diferencias en la cantidad de las corrientes de salida separadas por venta de pétreos, venta de no-pétreos y vertedero se muestran en la tabla 8.1.

Tabla 8.1: Suma de las cantidades de RCD's separadas de los cuatro tipos de plantas. Fuente: Elaboración propia.

		Básica Ton	Intermedia Ton	Desarrollada Ton	Avanzada Ton
VENTA	No-pétreos	8.847	8.847	8.573	10.104
	Áridos	77.129	77.129	64.307	72.280
NO VENTA	Vertedero	12.397	12.397	25.493	15.989
	TOTAL	98.373	98.373	98.373	98.373

Con respecto a la calidad de los áridos reciclados se observan importantes diferencias entre los cuatro tipos de plantas. La Figura 8.1. muestra dichas diferencias para las cuatro plantas tanto en tipo de árido como en la calidad de este.

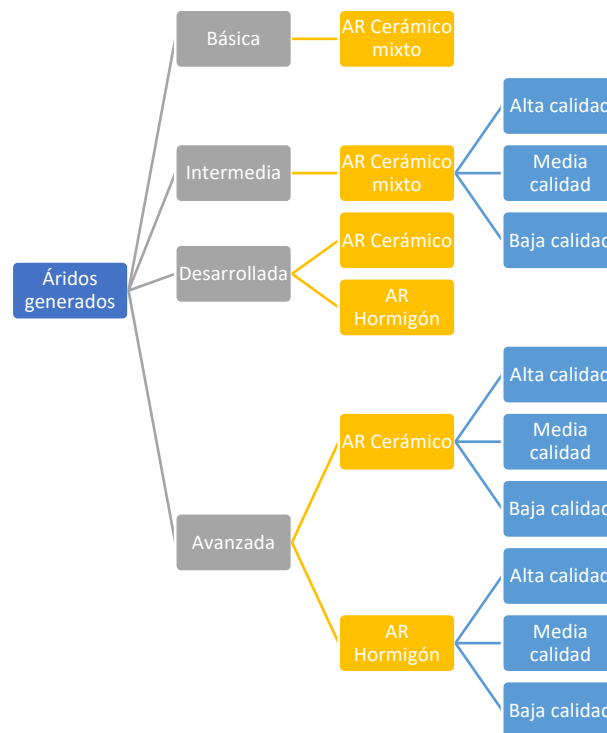


Figura 8.1: Tipos de áridos reciclados generados en las cuatro plantas. Fuente: Elaboración propia.

2) Posteriormente se han valorado criterios técnicos, ambientales y económicos:

- a. Criterio técnico: calidad del árido reciclado. Para calcular este valor de calidad se ha cuantificado la cantidad de impurezas (impropios, yeso y asfalto) en las corrientes de salida de áridos. La tabla 8.2 muestra las puntuaciones de calidad de manera que las más altas expresan menor contenido en impurezas.

Tabla 8.2: Resumen de las puntuaciones obtenidas por los AR de las cuatro plantas por bajo contenido en impurezas. Fuente: Elaboración propia.

Subcriterios	BÁSICA	INTERMEDIA	DESARROLLADA	AVANZADA
PUNTUACIONES POR BAJO CONTENIDO IMPROPIOS	7	22	20	40
PUNTUACIONES POR BAJO CONTENIDO YESO	9	27	17	52
PUNTUACIONES POR BAJO CONTENIDO ASFALTO	7	22	17	51
PUNTUACIONES TOTALES	23	71	54	143

Se observa que la calidad peor puntuada es la de la planta básica y que la avanzada es la que mejores resultados obtiene.

- b. Criterio medioambiental: porcentaje de recuperación y reciclado. Los resultados de dichos criterios pueden verse en la tabla 8.3.

Tabla 8.3: Resumen de recuperación y reciclaje final de las cuatro plantas. Fuente: Elaboración propia.

	Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
<b>Capacidad de recuperación ( % )</b>	87,18	87,18	87,35	91,33
	Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
<b>Capacidad de reciclaje ( % )</b>	44,66	44,66	41,80	70,87

Se comprueba que las cuatro plantas cumplen la normativa europea ya que consiguen porcentajes de recuperación por encima del 70%. Sin embargo, en términos de reciclaje sólo la avanzada consigue llegar a ese 70%. Tanto en recuperación como en reciclaje se observan cifras muy similares en las tres primeras plantas, estando el salto más significativo en la planta avanzada.

- c. Criterio económico: ingresos totales e ingresos por áridos. Para calcular los ingresos totales se ha tenido en cuenta los ingresos procedentes de la venta de las corrientes pétreas y no-pétreas, mientras que los ingreso por áridos son los ingresos obtenidos de la venta de las corrientes de áridos.

Tabla 8.4: Resumen de ingresos totales generados por las cuatro plantas. Fuente: Elaboración propia.

	Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
<b>Ingresos totales (€)</b>	400.699	431.052	404.879	642.568

Se observa que los ingresos totales que generan las planta básica, intermedia y desarrollada son prácticamente iguales mientras que la planta avanzada consigue más gracias tanto a la maquinaria como a la separación por lotes.

La tabla 8.5 muestra los ingresos generados por los áridos y se observa la progresión de la calidad de los áridos, que queda reflejada en los ingresos obtenidos.

Tabla 8.5: Ingresos generados por los áridos reciclados de las cuatro plantas. Fuente: Elaboración propia.

	Básica	Intermedia	Desarrollada	Avanzada
<b>Ingresos por áridos (€)</b>	64.528	94.882	85.636	110.214

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- {1} Elena Dosal, V. (2015), Towards an Improved Framework for Construction and Demolition Waste Management (C&DW) Using Decision Support Tools. Berta Galán, C. & Ana Andrés, P., Directoras. Tesis Doctoral. (Universidad de Cantabria). Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/8203>
- {2} Ley 22/2011, de 28 de Julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE. núm. 181, 29 de Julio de 2011).
- {3} Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE. núm. 140, 12 de Junio de 2013).
- {4} Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. (BOE. núm. 38, 13 de Febrero de 2008).
- {5} Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras. (BOE. núm. 143, 13 de Junio de 2009).
- {6} Real Decreto 777/2012, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por las actividades mineras. (BOE. núm. 118, 17 de Mayo de 2012).
- {7} CEDEX, (2010). Catálogo de residuos utilizables para la construcción. Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es>
- {8} Ihobe, (2011). Usos de áridos reciclados mixtos procedentes de Residuos de Construcción y Demolición. Disponible en: [http://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/PUB\\_2011\\_006\\_f\\_C\\_001\\_aridos.pdf](http://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/PUB_2011_006_f_C_001_aridos.pdf)
- {9} MARE, (2015). Medioambiente, Agua, Residuos Y Energía de Cantabria S.A (MARE). Disponible en: <http://www.mare.es>.

- {10} BOC, (2010b). Decreto 72/2010, de 28 de octubre, por el que se regula la producción y gestión de los Residuos de Construcción y Demolición en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Boletín Oficial de Cantabria. 8 de noviembre de 2010.
- {11} BOC, (2009). Decreto 6/2009 of fiscal measures and budgetary content. Ley de Cantabria 6/2009, de 28 de diciembre, de Medidas Fiscales y de Contenido Financiero. Boletín Oficial del Cantabria Extraordinario número 25. Miércoles, 30 de diciembre de 2009.
- {11} Mália, M., De Brito, J., Pinheiro, M.D., Bravo, M., (2013). Construction and demolition waste indicators. Waste Management and Research.
- {12} Coelho A. and De Brito J., (2013b). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part II: Economic sensitivity analysis. Journal of Cleaner Production.
- {13} Envirowise, (2006). Managing packaging waste on your construction site. Good Practice Guide 606. Available in: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/GG606\\_final.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/GG606_final.pdf).
- {14} BOC, (2010a). Decreto 15/2010, de 4 Marzo, 2010-2014 Plan Sectorial de Residuos de Cantabria. Boletín Oficial del Cantabria.
- {15} Instituto Nacional de Estadística, (2020). Disponible en: <http://www.ine.es/>
- {16} Coelho A. and De Brito J., (2013a). Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part I: Location, materials, technology and economic analysis. Journal of Cleaner Production.
- {17} S. Iodice, E. Garbarino, M. Cerreta, D. Tonini (2021). Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case.
- {18} Eatherley, D., and Slater, S., (2009). Final Report: Good practice in Construction and Demolition materials recovery facilities. A review of UK MRFs to identify, and to encourage MRF operators to adopt, good practice in the recovery of non-inert C&D waste materials.
- {19} Pinellas County, (2009). Innovative waste reduction & recycling grant ig8-06. MRFinng our way to diversion: capturing the commercial waste stream. Materials recovery facility technology review.

- {20} CYPE ingenieros, S.A., (2014). Precios de construcción. Generador de precios de la construcción. Disponible en: <http://www.generadordeprecios.info/>.
- {21} Saint Gobain, (2014). Propiedades del vidrio. Disponible en: <http://www.saint-gobainsekurit.com/es/glazingcatalouge/propiedades-del-vidrio>
- {22} Aspapel, (2021). Asociación española de productores de madera de pulpa, papel y cartón. Estadística de precios del papel recuperado en España. Precios del papel recuperado. Disponible en: <http://www.aspapel.es/>
- {23} LME, (2021). London metal Exchange. Disponible en: <https://www.lme.com/>
- {24} Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). (BOE. núm. 203, 22 de Agosto de 2008).
- {25} Garbarino, E. and Blengini, G.A., (2013). Chapter 6: The economics of construction and demolition waste (C&DW) management facilities. Handbook of recycled concrete and demolition waste (edited by F. Pacheco-Torgal). Woodhead Publishing. September 2013 - ISBN 0-85709-682-6.
- {26} Dosal, E., Viguri, J.R., Andrés, A., (2013). Chapter 5: Multi-criteria decision-making methods for the optimal location of construction and demolition waste (C&DW) recycling facilities. Handbook of recycled concrete and demolition waste (edited by F. Pacheco-Torgal). Woodhead Publishing. September 2013 - ISBN 0-85709-682-6.
- {27} BOE, (2013). Convenio colectivo de recuperación y reciclaje de residuos y materias primas secundarias 2013-2015. Boletín Oficial del Estado (BOE)/Boletín Oficial del Estado. 25 de octubre de 2013. 256: 86785.
- {28} Arregi, X., (2010). Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería de Organización Industrial orientado al grado de edificación. Estudio de viabilidad técnica, económica y financiera de una planta de tratamiento de residuos de Construcción y Demolición en la comarca del Urola Medio, Guipúzcoa. Director: Pedro Torres Marí. Universidad Politécnica de Cataluña.
- {29} Mercante, I.T., Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Arena, A.P., (2012). Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. International Journal of Life Cycle Assessment. 17:232–241.



{30} Emmitt, G.D., (1996). Minimizing groundwater consumption for required fugitive dust control programs. Proceeding for the Seventh Annual Environment Virginia'96 symposium. Conference on Environmental Management and Pollution Prevention.

{31} Schnellert, T. and Mueller, A., (2010). Separation Techniques for C&DW- Best practice. Development of a separation process for gypsum-contaminated concrete aggregates. Alternative separation technique for C&DW-optoelectronic separation. Bauhaus-University Weimar, Chair of Mineral Processing of Building Materials and Reuse, Germany.

{32} AEAS-AGA, (2013). Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento (AEAS) y Asociación Española de Empresas Gestoras de Agua (AGA). Informe "El agua en España 2013" / Estudio AEAS-AGA 2013 - El agua en España. Disponible en: [http://www.aeas.es/documentos/Resumen\\_Tarifas\\_2012.pdf](http://www.aeas.es/documentos/Resumen_Tarifas_2012.pdf)

{33} HENAN, (2015). Henan Hongji Mine Machinery Co. Available in: <http://hjcrusher.com/>.

{34} Bermúdez Pardo, A (2018), Influencia de la segregación de los residuos de construcción y demolición sobre diferentes plantas de reciclaje. Trabajo de fin de grado. (Escuela técnica superior de ingenieros industriales y telecomunicación de la Universidad de Cantabria). Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/13703>

## 10.ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### 10.1. ÍNDICE DE FIGURAS

GRÁFICO 2.1: COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. FUENTE: CEDEX, (2010) .....	16
FIGURA 3.1: MAPA DE CANTABRIA DIVIDIDO POR ÁREAS.....	29
FIGURA 3.2: MUNICIPIOS DEL ÁREA DE SANTANDER. ....	30
FIGURA 3.3: TRATAMIENTO DE RCD EN LOS AÑOS ESTUDIADOS EN CANTABRIA. FUENTE: ELENA DOSAL, 2015 .....	30
FIGURA 4.1: ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA BÁSICA E INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	40
FIGURA 4.2: ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	41
FIGURA 4.3: ESQUEMA GENERAL DE UNA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	42
FIGURA 4.4: TOLVA DE ALMACENAMIENTO. FUENTE: GESTER.....	45
FIGURA 4.5: CONTENEDOR ESTÁNDAR. FUENTE: CONSTRUCCIONES METÁLICAS DEL PONIENTE.....	45
FIGURA 4.6: GRÚA DE GANCHO. FUENTE: TRANSGRUAS .....	46
FIGURA 4.7: CRIBA VIBRATORIA. FUENTE: DIRECTINDUSTRY.....	47
FIGURA 4.8: CRIBA ROTATIVA. FUENTE: DIRECTINDUSTRY.....	48
FIGURA 4.9: IMÁN SOBRE CINTA TRANSPORTADORA. FUENTE: DIRECTINDUSTRY.....	48
FIGURA 4.10: SEPARADOR CORRIENTES FOUCAULT. FUENTE: DIRECT INDUSTRY .....	49

FIGURA 4.11: SEPARADOR POR FLUJO DE AIRE. FUENTE: DIRECT INDUSTRY .....	50
FIGURA 4.12: ESPIRAL. FUENTE: ALIBABA .....	50
FIGURA 4.13: SACUDIDORA DE HUMEDAD. FUENTE: ALIBABA .....	51
FIGURA 4.14: TRITURADORA DE MANDÍBULA. FUENTE: LECTURA SPECS ....	52
FIGURA 4.15: TRITURADORA POR IMPACTO. FUENTE: INTEREMPRESAS .....	52
FIGURA 5.1: BALANCE DE MATERIA EN LA INSPECCIÓN VISUAL Y PESAJE DE PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	58
FIGURA 5.2: BALANCE DE MATERIA EN EL ÁREA DE DESCARGA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	62
FIGURA 5.3: BALANCE DE MATERIA EN LA CRIBA VIBRATORIA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	63
FIGURA 5.4: BALANCE DE MATERIA EN LA TRITURADORA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	67
FIGURA 5.5: BALANCE DE MATERIA EN LA TOLVA DE ALMACENAMIENTO INTERMEDIO DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	67
FIGURA 5.6: BALANCE DE MATERIA EN LA SEPARACIÓN MAGNÉTICA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	68
FIGURA 5.7: BALANCE DE MATERIA EN LA CRIBA ROTATORIA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	70
FIGURA 5.8: BALANCE DE MATERIA EN LA SEPARACIÓN POR VIENTO DE LA PLANTA BÁSICA.FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	73
FIGURA 5.9: BALANCE DE MATERIA EN LA CABINA DE CLASIFICADO MANUAL DE LA PLANTA BÁSICA.FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	74

FIGURA 5.10: DISPOSICIÓN FINAL DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	75
FIGURA 5.11: DISPOSICIÓN FINAL DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	88
FIGURA 5.12: DISPOSICIÓN FINAL DE LA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	95
FIGURA 5.14: DISPOSICIÓN FINAL DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	117
FIGURA 8.1: TIPOS DE ÁRIDOS RECICLADOS GENERADOS EN LAS CUATRO PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	146

## 10.2. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS CORRESPONDIENTE A LA REGIÓN DE CANTABRIA, CONCRETAMENTE EN LA ZONA DE SANTANDER Y ALREDEDORES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	32
TABLA 3.2: GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS CORRESPONDIENTE A TODA LA REGIÓN DE CANTABRIA, DIVIDIDA POR LAS DIVERSAS POLÍTICAS DE SEGREGADO Y MEZCLADO, LOS CUALES CONFORMAN LAS ENTRADAS DE LAS PLANTAS DE RECICLAJE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	32
TABLA 4.1: COMPOSICIÓN TÍPICA EN ESPAÑA DE LOS RCD'S. FUENTE: CEDEX .....	33
TABLA 4.2: TONELADAS DE CADA RESIDUO SEGÚN LOS PORCENTAJES CLÁSICOS DE COMPOSICIÓN EN BASE A CIENTO MIL TONELADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	35
TABLA 4.3: DESTINO DE CADA CORRIENTE DE RESIDUOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	36

TABLA 4.4: TIPO DE TRATAMIENTO QUE RECIBIRÁ CADA RESIDUO. FUENTE: ELENA DOSAL, 2015. ....	38
TABLA 4.5: MAQUINARIA EMPLEADA EN CADA PLANTA DE RECICLAJE Y FUNCIÓN PRINCIPAL. FUENTE: ELENA DOSAL 2015 .....	44
TABLA 5.1: ENTRADAS GENERALES DE TODAS LAS PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	53
TABLA 5.2: SALIDA AL MÁNAGER DE RESIDUOS Y ENTRADAS A PLANTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	54
TABLA 5.3: CANTIDAD DE RESIDUOS SEGREGADOS QUE CORRESPONDEN A LA INSPECCIÓN VISUAL Y PESAJE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	56
TABLA 5.4: CANTIDAD DE RESIDUOS PÉTREOS QUE CORRESPONDEN A LA INSPECCIÓN VISUAL Y PESAJE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	56
TABLA 5.5: CANTIDAD DE RESIDUOS RCD QUE CORRESPONDEN A LA INSPECCIÓN VISUAL Y PESAJE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	57
TABLA 5.6: CANTIDADES RESULTANTES DEL TRATAMIENTO MANUAL DEL HORMIGÓN ARMADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	58
TABLA 5.7: ÁREA DE DESCARGA EN LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	61
TABLA 5.8: PROCESO DE SEPARACIÓN DE TAMAÑOS EN LA CRIBA VIBRATORIA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	64
TABLA 5.9: PROCESO DE REDACCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LA TRITURADORA DE MANDÍBULA EN LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	66
TABLA 5.10: PROCESO DE SEPARACIÓN POR TAMAÑOS EN LA CRIBA ROTATORIA DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	71

TABLA 5.11: SEPARACIÓN POR BARRIDO DE VIENTO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS DE BAJA DENSIDAD DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	72
TABLA 5.12: EXTRACCIÓN MANUAL EN LA CABINA DE CLASIFICADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	74
TABLA 5.13: TABLA RESUMEN DE LAS SALIDAS DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	76
TABLA 5.14: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS EN LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	77
TABLA 5.15: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	78
TABLA 5.16: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LOS RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO DE LOS RCD (PARTE 1) DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	78
TABLA 5.17: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LOS RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO DE LOS RCD (PARTE 2) DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	79
TABLA 5.18: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LOS RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO DE LOS RCD (PARTE 3) DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	79
TABLA 5.19: SEPARACIÓN POR TAMAÑO EN LA CRIBA VIBRATORIA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	80
TABLA 5.20: SEPARACIÓN POR TAMAÑO EN LA CRIBA VIBRATORIA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	81

TABLA 5.21: SEPARACIÓN POR TAMAÑO EN LA CRIBA VIBRATORIA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO DE LOS RCD DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
TABLA 5.22: REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR TRITURADORA DE MANDÍBULA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	83
TABLA 5.23: REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR TRITURADORA DE MANDÍBULA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	83
TABLA 5.24: REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA POR TRITURADORA DE MANDÍBULA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO GENÉRICO DE RCD'S DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	84
TABLA 5.25: SEPARACIÓN POR TAMAÑO EN LA ROTATORIA VIBRATORIA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	85
TABLA 5.26: SEPARACIÓN POR TAMAÑO EN LA ROTATORIA VIBRATORIA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	85
TABLA 5.27: SEPARACIÓN POR TAMAÑO EN LA CRIBA ROTATORIA DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO DE LOS RCD DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	86
TABLA 5.28: SEPARACIÓN POR BARRIDO DE VIENTO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS DE BAJA DENSIDAD DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	87
TABLA 5.29: EXTRACCIÓN MANUAL EN LA CABINA DE CLASIFICADO DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	87

TABLA 5.30: TABLA RESUMEN DE LAS SALIDAS DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	89
TABLA 5.31: PROCESO DE SEPARACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA Y TODO EN UNA EN LA ESPIRA DE LA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	91
TABLA 5.32: TAMIZADO POR FLUJO DE AIRE DE LA FRACCIÓN GRUESA DE LA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	92
TABLA 5.33: PROCESO DE SEPARACIÓN POR DENSIDAD DE LA FRACCIÓN GRUESA EN LA SACUDIDORA EN DOS ETAPAS DE LA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	93
TABLA 5.34: RESUMEN GENERAL DE LAS CORRIENTES DE SALIDA DE LA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	94
TABLA 5.35: CANTIDADES DE LOS RESIDUOS SEGREGADOS CORRESPONDIENTES A LA INSPECCIÓN Y AL PESAJE DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	96
TABLA 5.36: CANTIDADES DE LOS RESIDUOS DEL PÉTREO MEZCLADO CORRESPONDIENTES A LA INSPECCIÓN Y AL PESAJE DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	97
TABLA 5.37: CANTIDADES DE LOS RESIDUOS DEL MEZCLADO DE LOS RCD CORRESPONDIENTES A LA INSPECCIÓN Y AL PESAJE DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	97
TABLA 5.38: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	98
TABLA 5.39: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	99



TABLA 5.40: EXTRACCIÓN POR GRÚA DE GANCHO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PERTENECIENTES AL MEZCLADO DE LOS RCD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	101
TABLA 5.41: EXTRACCIÓN MANUAL EN LA CABINA DE CLASIFICADO SOBRE LAS CORRIENTES AFECTADAS DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	102
TABLA 5.42: TRABAJO EN CONJUNTO DE LA TRITURADORA POR IMPACTO Y LA CRIBA VIBRATORIA SOBRE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	103
TABLA 5.43: TRABAJO EN CONJUNTO DE LA TRITURADORA POR IMPACTO Y LA CRIBA VIBRATORIA SOBRE EL LOTE DE MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	104
TABLA 5.44: TRABAJO EN CONJUNTO DE LA TRITURADORA POR IMPACTO Y LA CRIBA VIBRATORIA SOBRE EL LOTE DEL MEZCLADO GENÉRICO DE LOS RCD DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	105
TABLA 5.45: SEPARACIÓN DE FRACCIONES EN CRIBA VIBRATORIA SOBRE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS SEGREGADAS DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	108
TABLA 5.46: SEPARACIÓN DE FRACCIONES EN CRIBA VIBRATORIA SOBRE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS PÉTREAS DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	108
TABLA 5.47: SEPARACIÓN DE FRACCIONES EN CRIBA VIBRATORIA SOBRE LAS CORRIENTES DE RCD'S DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	109
TABLA 5.48: SEPARACIÓN EN LA ESPIRAL DE LAS CORRIENTES NO PÉTREAS DE LAS PÉTREAS PERTENECIENTES AL MEZCLADO GENÉRICO DE LOS RCD DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	112

TABLA 5.49: SEPARACIÓN POR BARRIDO DE VIENTO DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS DE BAJA DENSIDAD DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	113
TABLA 5.50: SEPARACIÓN EN SACUDIDORA DE HUMEDAD DE LA FRACCIÓN GRUESA DEL MEZCLADO PÉTREO DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	114
TABLA 5.51: SEPARACIÓN EN SACUDIDORA DE HUMEDAD DE LA FRACCIÓN GRUESA DEL MEZCLADO GENÉRICO DE LOS RCD'S DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	115
TABLA 5.52: RESUMEN GENERAL DE LAS SALIDAS DE LA PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	116
TABLA 5.53: RESUMEN DE LAS CORRIENTES DE SALIDA DE LOS MATERIALES NO-PÉTREOS DE LAS CUATRO PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	118
TABLA 5.54: RESUMEN DE LAS SALIDAS DE ÁRIDOS RECICLADOS DE LAS CUATRO PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	119
TABLA 5.55: SUMA DE LAS CANTIDADES DE LAS CORRIENTES DE SALIDA DESTINADAS A VENTA O VERTEDERO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA...	120
TABLA 6.1: RESUMEN DE LOS PORCENTAJES DE LA CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE RECURSOS DE LAS PLANTAS BÁSICA, INTERMEDIA, DESARROLLADA Y AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	123
TABLA 6.2: CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE RECURSOS DE LA PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	124
TABLA 6.3: CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN DE RECURSOS DE LA PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	124

TABLA 6.4: CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN DE RECURSOS DE LA PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	125
TABLA 6.5: CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN DE RECURSOS DE LA PLANTA AVANZADS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	125
TABLA 6.6: RESUMEN DEL CONTENIDO DE IMPROPIOS EN LAS 4 PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	127
TABLA 6.7: VALORACIONES POR % DE IMPROPIOS EN EL ÁRIDO RECICLADO DE LAS PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	127
TABLA 6.8: PUNTUACIONES POR CALIDAD EN FUNCIÓN DE BAJO % DE IMPROPIOS Y SEPARACIÓN DE TIPO DE ÁRIDO RECICLADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	128
TABLA 6.9: RESUMEN DEL CONTENIDO DE YESO EN LAS 4 PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	128
TABLA 6.10: VALORACIONES POR % DE YESO EN EL ÁRIDO RECICLADO DE LAS PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	129
TABLA 6.11: PUNTUACIONES POR CALIDAD EN FUNCIÓN DE BAJO % DE YESO Y SEPARACIÓN DE TIPO DE ÁRIDO RECICLADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	129
TABLA 6.12: RESUMEN DEL CONTENIDO DE ASFALTO EN LAS 4 PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	130
TABLA 6.13: VALORACIONES POR % DE ASFALTO EN EL ÁRIDO RECICLADO DE LAS PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	130
TABLA 6.14: PUNTUACIONES POR CALIDAD EN FUNCIÓN DE BAJO % DE YESO Y SEPARACIÓN DE TIPO DE ÁRIDO RECICLADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	130

TABLA 6.15: PUNTUACIONES DE CALIDAD POR BAJO CONTENIDO DE IMPUREZAS POR CADA TIPO DE PLANTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	130
--	-----

TABLA 6.16: INGRESOS GENERADOS POR TONELADA RECUPERADA DE LOS RECURSOS CON UN MERCADO ESTABLECIDO POR AMBOS TIPOS DE PLANTAS. FUENTE: ELENA DOSAL, (2015)	133
---	-----

TABLA 6.17: CÁLCULO DE LOS INGRESOS GENERADOS POR PLANTA BÁSICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	135
--	-----

TABLA 6.18: CÁLCULO DE LOS INGRESOS GENERADOS POR PLANTA INTERMEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	135
--	-----

TABLA 6.19: CÁLCULO DE LOS INGRESOS GENERADOS POR PLANTA DESARROLLADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	136
--	-----

TABLA 6.20: CÁLCULO DE LOS INGRESOS GENERADOS POR PLANTA AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	136
--	-----

TABLA 6.21: COSTE DE LA MAQUINARIA EN TODOS LOS TIPOS DE PLANTA. FUENTE: ELENA DOSAL, (2015)	138
--	-----

TABLA 6.22: COSTES OPERACIONALES EN TODOS LOS TIPOS DE PLANTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	139
--	-----

TABLA 6.23: FACTORES OPERACIONALES EN TODOS LOS TIPOS DE PLANTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	140
--	-----

TABLA 6.24: COSTES RELACIONADOS CON EL PERSONAL LABORAL DE LAS PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	142
---	-----

TABLA 7.1: PUNTUACIONES DEL VALOR DEL ÁRIDO CERÁMICO MIXTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	143
--	-----

TABLA 7.2: CANTIDADES DE RCD'S DE LAS CORRIENTES DE SALIDA DE LA PLANTA BÁSICA MAXIMIZANDO EL VALOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	144
--	-----

TABLA 7.3: VARIABLES ESTUDIADAS PARA HACER EL VALOR DE LOS ÁRIDOS MÁXIMO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	144
TABLA 7.4: VARIABLES ESTUDIADAS PARA EL CASO DE PORCENTAJE DE PÉTREOS Y MEZCLADO TOTAL IGUALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. .....	144
TABLA 8.1: SUMA DE LAS CANTIDADES DE RCD'S SEPARADAS DE LOS CUATRO TIPOS DE PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	145
TABLA 8.2: RESUMEN DE LAS PUNTUACIONES OBTENIDAS POR LOS AR DE LAS CUATRO PLANTAS POR BAJO CONTENIDO EN IMPUREZAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	146
TABLA 8.3: RESUMEN DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE FINAL DE LAS CUATRO PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	147
TABLA 8.4: RESUMEN DE INGRESOS TOTALES GENERADOS POR LAS CUATRO PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	147
TABLA 8.5: INGRESOS GENERADOS POR LOS ÁRIDOS RECICLADOS DE LAS CUATRO PLANTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	148

# 11.ANEXOS

```

1  ***PLANTA BÁSICA |
2  *set i/seg,met,mezp,mezt/
3  set j /hor,harm,ahor,lad,azul,aren,pie,bit,ace,lad,vid,plas,yeso,aisl,emba,paper/
4  tin/gru,med,fin/
5  tout/coa,fin,all/
6  e /hg,mg,lw/;
7  *scalar dat_entrada /48636/;
8  *sin piedras y bituminosos 48626-1702-1702=45232
9  scalar dat_entrada /98373.46/;
10 scalar per_seg /0.136/;
11 *1239 ton de mezclado metales no llegan a la planta, 311 de metales segregados tampoco
12
13- Parameter pseg(j) / hor 0.08079231107,harm 0.05386154071,ahor 0.00468361224, lad 0.426403864, azul 0.179538469,aren 0, pie 0.05610577158,bit 0.05610577158,
14 ace 0, mad 0.04488461726, vid 0, plas 0.01683173147, yeso 0.00224423086, aisl 0.07854808021, emba 0,paper 0/
15- Parameter pmezp(j) / hor 0.09458342573,harm 0.06305561715,ahor 0.00548389714, lad 0.4991903024, azul 0.2101853905,aren 0.0618192325, pie 0.06568293453,bit 0,
16 ace 0, mad 0, vid 0, plas 0, yeso 0, aisl 0, emba 0,paper 0/
17- Parameter pmezt(j) / hor 0.05149739769,harm 0.03433159846,ahor 0.00298535639, lad 0.2717918211, azul 0.1144386615,aren 0.03365842986, pie 0.03576208173,bit 0.09536555128,
18 ace 0.01191654758, mad 0.07629244102, vid 0.00953655513, plas 0.02860966538, yeso 0.00381462295, aisl 0.1335117718, emba 0.08975581297,paper 0.00673168597/
19

```

```

208 positive variables
209 in_tot,entrada,out_tot,in_ades_t,salida_iv_t,in_cv_t,out_cv_t,in1_trit_t,in2_trit_t,out_trit_t,in_tol_t,out_tol_t,in_sepm_t,in_cr_t,in_sv_t,in_cm_t,out_iv_t,
210 hormig_tot,grua_tot,otros_tot,out_gr_tot,out_f_tot,out_all_tot,out_g_tot,
211 out_hormi(j,tin),out_grua(j,tin),in_ad(j,tin), in_cv(j,tin),out_cv(j,tin),
212 in1_trit(j,tin),in2_trit(j,tin), in_trit(j,tin),out_trit(j,tin), in2_trit(j,tin),out_iv(j,tin),trit(j))
213 in1_c_tol(j,tout),in2_tol(j,tout),in_sepm(j,tin), in_ades(j,tin), reintro(j,tin), salida_iv(j,tin),
214 in_cr(j,tout),met(j,tout),in_sepm(j,tin),out_g(j,tout),out_gr(j,tout),out_f(j,tout),out_all(j,tout),in_sv(j,tout)
215 aire(j,tout),in_cm(j,tout),otros(j,tout),outcr_f(j),outcr_all(j), out_sm(j,tin),
216 cost_f,cost_en,cost_inst, d_en_seg,d_en_no_seg,d_en_mezt,d_en_mezp,
217 qseg(j),qmezt(j),qmezp(j),datseg(j,tin),datmezt(j,tin),datmezt(j,tin),recycling,recovery
218 q_petroes, qseg_gs(j),qseg_pl(j),seg_iv(j,tin),iv_gs,metales,metales_tot;
219
220 variables z,mt,mp,valor,por_petroes ;
221
222 equation
223 e1,e2,e3,e4,e6,e6a,e6b,e6c,e7,e8,e10,e11,e13,e14,e15,e16,e20
224 ect1,ect2,ect3,ect4,ect5,ect7,ect8,ect9,ect10,ect11,ect12,ect13,ect14,ect15,ect16,ect17,ect88,ect89
225 ec1,ec2,ec3a,ec3b,ec3c,ec4,ec5,ec6,ec7,ec8,ec19,ec9a,ec9b,ec9c,ec10,ec10b,ec11
226 ec12,ec13,ec14,ec15,ec16,ec20,ec21,ec22,ec23,ec24,ec32,ec88,ec89
227 obj;
228
229
230 *DATOS DE LA ENTRADA TOTAL
231
232 *por tipos
233
234 e1.. d_en_seg=e*(dat_entrada)*per_seg;
235 e2.. d_en_no_seg=e*(dat_entrada)*(1-per_seg);
236 e3.. d_en_mezt=e*(dat_entrada)*mt;
237 e4.. d_en_mezp=e*(dat_entrada)*mp;
238 e20.. l=e*per_seg*mp+mt;
239
240
241 *por componentes
242 e6(j).. qseg(j)=d_en_seg*pseg(j) ;
243 e7(j).. qmezt(j)=d_en_mezt*pmezp(j);
244 e8(j).. qmezp(j)=d_en_mezp*pmezp(j);
245 e10.. entrada=sum(j,qseg(j))+sum(j,qmezp(j))+sum(j,qmezt(j));
246 e15.. por_petroes=qseg("hor")+qseg("lad")+qseg("azul")+qseg("aren")+qseg("pie")+qseg("bit")+sum(j,qmezp(j))+
247 qmezt("hor")+qmezt("lad")+qmezt("azul")+qmezt("aren")+qmezt("pie")+qmezt("bit"))/(dat_entrada);
248 e16.. q_petroes=qseg("hor")+qseg("lad")+qseg("azul")+qseg("aren")+qseg("pie")+qseg("bit")+sum(j,qmezp(j))+
249 qmezt("hor")+qmezt("lad")+qmezt("azul")+qmezt("aren")+qmezt("pie")+qmezt("bit");
250
251 *por tamaños
252 e11(j,tin).. datseg(j,tin)=e*qseg_pl(j)*pertam(j,tin) ;
253 e13(j,tin).. datmezt(j,tin)=e*qmezp(j)*pertam(j,tin) ;
254 e14(j,tin).. datmezt(j,tin)=e*qmezt(j)*pertam(j,tin) ;
255
256 ***sumas
257 ect1.. in_tot=sum((j,tin),in_ad(j,tin))+sum(j,qseg_gs(j));
258 ecc.. out_tot=e*iv_gs+hormig_tot+grua_tot+aire_tot+otros_tot+out_gr_tot+out_f_tot+out_all_tot+metales_tot;
259 ect88.. out_iv_t=sum((j,tin),out_iv(j,tin));
259 ect89.. in_ades_t=sum((j,tin), in_ades(j,tin));
260 ect2.. in_cv_t=sum((j,tin),in_cv(j,tin));
261 ect7.. out_cv_t=sum((j,tin),out_cv(j,tin));
262 ect3.. in1_trit_t=sum((j,tin),in1_trit(j,tin));
263 ect4.. in2_trit_t=sum((j,tin),in2_trit(j,tin));
264 ect5.. out_trit_t=sum((j,tin),out_trit(j,tin));
265 ect8.. in_sepm_t=sum((j,tin),in_sepm(j,tin));
266 ect9.. in_cr_t=sum((j,tout),in_cr(j,tout));
267 ect10.. in_sv_t=sum((j,tout),in_sv(j,tout));
268 ect11.. in_cm_t=sum((j,tout),in_cm(j,tout));
269 ect12.. iv_gs=e*sum(j,qseg_gs(j));
270 ect13.. hormig_tot=e*sum((j,tin),out_hormi(j,tin));
271 ect14.. grua_tot=e*sum((j,tin),out_grua(j,tin));
272 ect15.. metales_tot=e*sum((j,tin),metales(j,tin));
273 ect16.. aire_tot=e*sum((j,tout),aire(j,tout));
274 ect17.. otros_tot=e*sum((j,tout),otros(j,tout));
275
276 **mezcladora
277
278 ec1(j,tin).. in_ad(j,tin)=e*datseg(j,tin)+datmezt(j,tin)+datmezt(j,tin);
279

```

```

280 *inspección visual
281
282 e6a(j)..      qseg_gs(j)=e=qseg(j)*iv(j);
283 e6b(j)..      qseg_pl(j)=e=qseg(j)*(1-iv(j));
284 e6c(j,tin)..  seg_iv(j,tin)=e=qseg_pl(j)*pertam(j,tin) ;
285
286 ec88(j,tin).. out_iv(j,tin)=e=seg_iv(j,tin)+datmezp(j,tin)+datmezt(j,tin);
287 ec3b(j,tin).. out_hormi(j,tin)=e=out_iv(j,tin)*ad_sal_hor(j,tin);
288
289 ec89(j,tin).. in_ades(j,tin)=e=out_iv(j,tin)*ad_reintro_hor(j,tin);
290
291
292 ***Área descarga
293
294 ec2(j,tin)..  in_cv(j,tin)=e=in_ades(j,tin)*ad_cv(j,tin);
295 ec3a(j,tin).. in1_trit(j,tin)=e=in_ades(j,tin)*ad_trit(j,tin);
296 ec3c(j,tin).. out_grua(j,tin)=e=in_ades(j,tin)*ad_grua(j,tin);
297
298 ***Criba vibratoria
299
300 ec4(j,tin)..  out_cv(j,tin)=e=in_cv(j,tin)*cv_tol(tin);
301 ec5(j,tin)..  in2_trit(j,tin)=e=in_cv(j,tin)*(1-cv_tol(tin));
302
303 ***Trituradora
304
305 ec6(j,tin)..  in1_trit(j,tin)+in2_trit(j,tin)=e=in_trit(j,tin);
306 ec7(j)..      sum(tin,in_trit(j,tin))=e=trit(j);
307 ec8(j,tin)..  trit(j)*tritura(j,tin)=e=out_trit(j,tin);
308
309 ***Tolva
310
311 ec19(j,tin).. in_sepm(j,tin)=e= out_cv(j,tin)+out_trit(j,tin);
312
313 ***Sep magnético
314
315 ec10(j,tin).. metales(j,tin)=e=in_sepm(j,tin)*sep_met(j,tin);
316 ec10b(j,tin).. out_sm(j,tin)=e=in_sepm(j,tin)*(1-sep_met(j,tin));
317
318 ***Cambio de tamaño
319
320 ec9a(j)..      in_cr(j,"coa")=e=out_sm(j,"med");
321 ec9b(j)..      in_cr(j,"fine")=e=out_sm(j,"fin")*0.6;
322 ec9c(j)..      in_cr(j,"all")=e=out_sm(j,"fin")*0.4;
323
324 ***Criba rotatoria
325
326 ec11(j,tout).. out_g(j,tout)=e=in_cr(j,tout)*cr_gru(tout);
327 ec12(j,tout).. out_f(j,tout)=e=in_cr(j,tout)*cr_med(tout);
328 ec13(j,tout).. out_all(j,tout)=e=in_cr(j,tout)*cr_fin(tout);
329 ec14..         out_f_tot=e=sum((j,tout),out_f(j,tout));
330 ec15..         out_all_tot=e=sum((j,tout),out_all(j,tout));
331 ec16..         out_g_tot=e=sum((j,tout),out_g(j,tout));
332
333 ***Sep por viento
334
335 ec20(j,tout).. aire(j,tout)=e=out_g(j,tout)*viento(j,tout);
336 ec21(j,tout).. in_cm(j,tout)=e=out_g(j,tout)*(1-viento(j,tout));
337
338 ***Sep manual
339
340 ec22(j,tout).. out_gr(j,tout)=e=in_cm(j,tout)*0.988;
341 ec23(j,tout).. otros(j,tout)=e=in_cm(j,tout)*0.012;
342 ec24..         out_gr_tot=e=sum((j,tout),out_gr(j,tout));
343 ec32..         valor=e=out_gr_tot*1.5;
344
345 *Función objetivo;
346 obj..          z=e=valor;
347 mp.lo=0 ;
348 mt.lo=0;
349 mp.up=0.864;
350 mt.up=0.864;
351 por_petros.lo=0;
352 por_petros.up=0.8;

```

```

355 *valores iniciales
356
357 entrada.l=100000;
358
359 option nlp=conopt3;
360
361 model rcd /all/
362 Solve rcd using nlp maximizing valor;
363
364 display por_petros.l,mp.l,mt.l,per_seg,valor.l;
365
366 display hormig_tot.l,iv_gs.l,grua_tot.l,metales_tot.l,aire_tot.l,otros_tot.l,out_gr_tot.l,out_f_tot.l,out_all_tot.l;
367
368

```